



**João Frederico da Silva Lopes de Frias Branco**

Licenciado em Engenharia Informática

## **Aplicação Conjunta das Metodologias TRIZ-Taguchi-SMED**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Helena Victorovna Guitiss Navas, Professora Auxiliar,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março, 2016**



### **[Aplicação Conjunta das Metodologias TRIZ-Taguchi-SMED]**

Copyright © [João Frederico da Silva Lopes de Frias Branco], Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*“Together we are bringing all our  
worlds to a better future!”<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> International Human Rights Commission, Paquistão 2016



## Agradecimentos

Existem inúmeras pessoas a quem terei de agradecer uma vez que tornaram possível ter chegado a este ponto. À Professora Helena Navas por me ter desafiado a explorar uma das metodologias despertando a minha curiosidade. Ao professor Fernando Santana, Diretor da FCT, por toda a pressão que fez para concluir rapidamente este meu percurso académico. Aos Subdiretores que também macei para realizar a dissertação de mestrado, Jorge Lampreia, Isabel Nunes, José Alferes e Graça Martinho. À minha querida Doutora Teresa Lemos e ao Professor António Rendas. O Conselho de estudantes fica agora imortalizado numa dissertação.

À empresa Eugster / Frismag AG pelo tempo despendido a me explicaram ao pormenor toda a indústria de injeção de moldes de plástico, que contribuíram para uma melhor perceção de como poderia abordar as metodologias propostas.

Sendo o fim de um mestrado um marco importante na vida de uma pessoa, não poderia desperdiçar esta oportunidade em me mostrar grato aos Professores que tive na Licenciatura, Engenharia Informática. Ao Professor João Lourenço e ao Professor João Moura Pires, que me ensinaram bem mais do que estava no programa. Ao Departamento de Matemática, nomeadamente ao Professor José Maria Gomes e à Professora Isabel Gomes por me mostrarem o verdadeiro ensino centrado no estudante. Ao Departamento de Engenharia e Gestão Industrial por me terem acolhido perfeitamente no meu segundo ciclo, em particular ao Professor Rogério Puga Leal e à Professora Isabel Nunes, e claro à Professora Helena Navas já referida.

Às diversas direções e órgãos da Associação dos Estudantes da FCT que colaborei, principalmente a que tive a oportunidade de liderar. A todas pessoas incríveis que conheci. Tornámo-nos todos mais adultos, responsáveis e deixámos uma escola melhor. Agradeço ainda às diversas Associações de Estudantes que me permitiram também ter sido Presidente da FAIRe, representando todos os estudantes portugueses na *European Students' Union*. Ter sido dirigente estudantil foi uma das melhores oportunidades que a vida me deu e sei que foi a melhor disciplina que tive na Faculdade.

À Celma Padamo e a toda a Divisão de Comunicação e Relações Exteriores e gabinete de design da FCT.

Ao restaurante Teresa Gato, ao Serrado, ao bar do DI, à Petisqueira, à sala 236, ao GANK e todas as pessoas que circulam nestes espaços marcantes, em particular os meus afilhados.

À minha família pela minha educação e por ter aceite e compreendido o meu percurso de aprendizagem e crescimento alternativo e paralelo ao longo destes anos no Ensino Superior. Um agradecimento particular ao meu avô Francisco Barata-Lopes.

Por tudo isto... Por estes anos todos...



## Resumo

---

Cada vez mais as empresas procuram investir em inovação, redução da variabilidade e melhoria contínua de produtos e processos através da utilização de novas metodologias e abordagens.

Existindo diversas metodologias usadas no âmbito de melhorias de processos industriais que, individualmente, têm provas de sucessos alcançados, a combinação das potencialidades e complementaridades entre algumas das mesmas pode resultar num aumento da eficiência e eficácia global. As metodologias abordadas e aprofundadas no âmbito desta dissertação são: o SMED, o TRIZ e a metodologia Taguchi.

Já são conhecidas algumas aplicações práticas de utilização destas metodologias par-a-par. Não existem ainda referências da utilização conjunta e sequencial destas três em particular. Assim, foi desenvolvido um modelo de forma genérica para poder ser aplicado em diversas áreas de engenharia e gestão industrial. O modelo foi testado e validado numa indústria de injeção de moldes de plásticos em dois casos de estudo. A perceção da problemática foi adquirida numa empresa do mesmo ramo, Eugster / Frismag AG, sediada em Torres Vedras, que poderá aplicar o modelo na resolução de problemas atuais e futuros.

A junção das três metodologias permite a redução dos tempos de *setup* iniciais, a redução da variabilidade, a melhoria das características pretendidas e, ainda, a identificação e resolução de eventuais contradições encontradas no processo de melhoria, alcançando maior grau de idealidade do sistema.

**Palavras-chave:** Taguchi, TRIZ, SMED, resolução de problemas, variabilidade, tempo de *setup*.

---



# Abstract

---

More and more companies seek to invest in innovation, reducing variability and the continuous improvement of products and processes through the use of new methodologies and approaches.

There are several methodologies used in the context of industrial process improvements that individually have evidence of successes, combining the strengths and complementarities among some of them may result in an increased efficiency and overall effectiveness. The methodologies discussed and deepened in the context of this thesis are: SMED, the TRIZ and Taguchi methodology.

Some practical applications are already known from using these peer-to-peer methods. There are also references to joint and sequential use of these three in particular. Therefore, it was developed a general pattern to be applied in various fields of engineering and industrial management. The model has been tested and validated in a plastics' mold injection factory in two cases-of-study. The perception of the issue was acquired in a company working in the same industry, Eugster / Frismag AG, in Torres Vedras, that could apply the model to solve current and future problems.

The combination of the three methods allows reducing the initial setup time, reducing variability, improving the desired characteristics, and further, the identification and resolution of any conflicts found in process improvement, reaching a higher degree of ideality of the system.

**Keywords:** Taguchi, TRIZ, SMED, problem solving, variability, setup time.

---



# Índice

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 ENQUADRAMENTO E JUSTIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS DO ESTUDO .....	2
1.2 CONTRIBUTOS DA DISSERTAÇÃO .....	3
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	4
2. METODOLOGIAS DE APOIO À GESTÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS.....	5
2.1 METODOLOGIA TRIZ.....	6
2.1.1 Níveis de inovação.....	7
2.1.2 Aplicações informáticas TRIZ de apoio à decisão.....	9
2.1.3 Contradições.....	10
2.1.4 Recursos .....	11
2.1.5 Padrões de Evolução e idealidade.....	12
2.1.6 Princípios de invenção.....	13
2.1.7 Matriz de contradições.....	18
2.1.8 Algoritmo de Resolução Criativa de Problemas .....	18
2.1.9 Análise Substância-Campo .....	19
2.2 METODOLOGIA TAGUCHI .....	25
2.2.1 Projeto de tolerâncias .....	28
2.2.2 Sinais de ruído .....	32
2.3 METODOLOGIA SMED .....	37
2.4 OUTRAS TÉCNICAS .....	41
3. APLICAÇÕES CONJUNTAS DE VÁRIAS METODOLOGIAS .....	47
3.1 UTILIZAÇÃO CONJUNTA DAS METODOLOGIAS TAGUCHI - SMED.....	48

3.2 UTILIZAÇÃO CONJUNTA DAS METODOLOGIAS TRIZ - TAGUCHI .....	49
4. MODELO TRIZ-TAGUCHI-SMED .....	51
4.1 INTEGRAÇÃO DO SMED NO MODELO .....	55
4.2 INTEGRAÇÃO DO TRIZ NO MODELO .....	56
4.3 INTEGRAÇÃO DO METODOLOGIA TAGUCHI NO MODELO .....	57
5. CASOS DE ESTUDO .....	59
5.1 INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS EM MOLDES .....	61
5.1.1 Plásticos .....	61
5.1.2 História .....	62
5.1.3 Molde para a injeção de plásticos .....	68
5.1.4 Sistemas de injeção e tipo de injetoras .....	71
5.1.5 Processo de injeção .....	71
5.2 CASO 1: MÉTODO TAGUCHI - SMED .....	78
5.2.1 Análise da aplicação existente .....	81
5.2.2 Resultado .....	90
5.2.3 Proposta de melhoria ao modelo apresentado .....	90
5.3 CASO 2: MÉTODO TRIZ - TAGUCHI .....	92
5.3.1 Análise da aplicação existente .....	95
5.3.2 Resultado .....	97
5.3.3 Proposta de melhoria ao modelo apresentado .....	97
6. CONCLUSÕES E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	101
BIBLIOGRAFIA .....	105
ANEXO .....	111
A.1 MATRIZ DE CONTRADIÇÕES TRIZ .....	112

## Índice de Figuras

FIGURA 2.1 - SISTEMATIZAÇÃO DO TRIZ POR ALTSHULLER.....	7
FIGURA 2.2 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DA METODOLOGIA TRIZ .....	8
FIGURA 2.3 - FUNÇÃO CAUSADA POR UMA SUBSTÂNCIA .....	20
FIGURA 2.4 - SUBSTÂNCIA-CAMPO INCOMPLETA .....	22
FIGURA 2.5 - SUBSTÂNCIA-CAMPO PARA REDUZIR IMPACTO MODIFICANDO S2.....	22
FIGURA 2.6 - SUBSTÂNCIA-CAMPO PARA REDUZIR IMPACTO MODIFICANDO S1.....	22
FIGURA 2.7 - MODIFICAR SUBSTÂNCIA-CAMPO PARA ELIMINAR IMPACTO NEGATIVO .....	23
FIGURA 2.8 - SUBSTÂNCIA-CAMPO QUE INTERAGE COM OUTRO SISTEMA.....	23
FIGURA 2.9 - SUBSTÂNCIA-CAMPO COM NOVO CAMPO POSITIVO .....	23
FIGURA 2.10 - SUBSTÂNCIA-CAMPO COM NOVO SISTEMA EM CADEIA .....	24
FIGURA 2.11 - FUNÇÃO PERDA DE TAGUCHI .....	26
FIGURA 2.12 - FIGURA DE LEAN MANUFACTURING AND SIX SIGMA DEFINITIONS. ....	26
FIGURA 2.13 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DO SISTEMA .....	33
FIGURA 2.14 - ESQUEMA MÉTODOS DE TAGUCHI .....	36
FIGURA 2.15 - TEMPO DE <i>SETUP</i> .....	38
FIGURA 2.16 - MOTIVAÇÕES PARA A REDUÇÃO DO TEMPO DE MUDANÇA DE FERRAMENTA .....	39
FIGURA 2.17 - ESTÁGIOS DE APLICAÇÃO DE CONCEITOS .....	39
FIGURA 2.18 - PLANEAMENTO AVANÇADO DA QUALIDADE.....	41
FIGURA 2.19 - MATRIZ DO PRODUTO .....	44
FIGURA 2.20 - PLANEAMENTO DE PROCESSOS .....	45
FIGURA 2.21 - CARTA FMEA.....	46
FIGURA 4.1 – ESQUEMA PROPOSTO.....	53
FIGURA 4.2 – PARTE SMED DO ESQUEMA PROPOSTO. ....	55

FIGURA 4.3 - PARTE TRIZ DO ESQUEMA PROPOSTO.....	57
FIGURA 4.4 - PARTE TAGUCHI DO ESQUEMA PROPOSTO .....	58
FIGURA 5.1 - BALANÇA COMERCIAL ENTRE 2004 – 2015.....	64
FIGURA 5.2 - PRODUÇÃO VS EXPORTAÇÃO. ....	65
FIGURA 5.3 - PRINCIPAIS MERCADOS EM 2014.....	66
FIGURA 5.4 - PRINCIPAIS CLIENTES EM 2014.....	66
FIGURA 5.5 - FABRICAÇÃO DE ARTIGOS DE BORRACHA E MATÉRIAS PLÁSTICAS - 2011 .....	67
FIGURA 5.6 - REPARTIÇÃO DAS VENDAS POR MERCADO - 2011.....	67
FIGURA 5.7 - EXEMPLO DE UMA MÁQUINA DE INJEÇÃO .....	68
FIGURA 5.8 - PORTA MOLDE EM MONTAGEM EXPLODIDA. ....	69
FIGURA 5.9 - EXEMPLOS DE UM MOLDE PARA UTENSÍLIOS DOMÉSTICOS DA MARCA HYSION. ....	70
FIGURA 5.10 - COMPONENTES DE UMA MÁQUINA INJETORA.....	72
FIGURA 5.11 - ETAPAS DO PROCESSO DE INJEÇÃO .....	73
FIGURA 5.12 - EXEMPLO DE MOLDE 1 .....	74
FIGURA 5.13 - EXEMPLO DE MOLDE 2 .....	74
FIGURA 5.14 - VISUALIZAÇÃO DA DOSAGEM, ALMOFADA E INÍCIO DA 2ª PRESSÃO.....	76
FIGURA 5.15 - TEMPOS DE CICLOS COMPLETOS DE UMA INJETORA .....	77
FIGURA 5.16 - DEFORMAÇÃO A SER MEDIDA .....	79
FIGURA 5.17 - VALORES ATINGIDOS COM OS PARÂMETROS.....	81
FIGURA 5.18 - SN RÁCIO PARA OS PARÂMETROS .....	81
FIGURA 5.19 - RESULTADO VS TEMPEINJE.....	82
FIGURA 5.20 - RESULTADO VS PRESSÂCOND .....	84
FIGURA 5.21 - RESULTADO VS TEMPOÂRRE .....	86
FIGURA 5.22 - RESULTADO VS PRESSINJE.....	88
FIGURA 5.23 - MELHORIAS DO TEMPO .....	90
FIGURA 5.24 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO CASO DE ESTUDO 1 .....	91
FIGURA 5.25 - PRIMEIRO EXEMPLO DA APLICAÇÃO .....	92
FIGURA 5.26 - DEFORMAÇÃO DA PEÇA .....	94
FIGURA 5.27 - MOSTRA DE RESULTADO NEGATIVOS OBTIDOS.....	95
FIGURA 5.28 - CURVATURA DA PEÇA EM RELAÇÃO INICIAL .....	96



## Índice de Tabelas

TABELA 2.1 - SIMBOLOGIA USADA EM DIAGRAMAS SUBSTÂNCIA-CAMPO .....	21
TABELA 2.2 - SOLUÇÕES PADRÃO .....	21
TABELA 3.1 - ESQUEMA DO <i>LOGICAL FRAMEWORK MATRIX</i> .....	42
TABELA 2.4 - FERRAMENTAS UTILIZADAS POR GRANDES EMPRESAS .....	<b>ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.</b>
TABELA 5.1 - FATORES COM OS NÍVEIS.....	80
TABELA 5.2 - MATRIZ DE IDEALIDADE INICIAL ANTES DE MELHORIA .....	98
TABELA 5.3 - MATRIZ DE IDEALIDADE DEPOIS DAS MELHORIAS PROPOSTAS .....	99



## Lista de Acrónimos

ARIZ - Algoritmo de Resolução Criativa de Problemas

CEP - Controlo Estatístico de Processo

FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*

INE - Instituto Nacional de Estatística

JIT - *Just in Time*

LFM - *Logical Framework Matrix*

QFD - Desdobramento da Função Qualidade

RPN – *Risk Priority Number*

SMED - *Single Minute Exchange of Die*

TRIZ - Teoria de Resolução Inventiva de Problemas





## Introdução

O capítulo 1 da dissertação centrar-se-á numa breve introdução à mesma, com os respetivos objetivos, enquadramentos, contributos do estudo e explicação da estrutura. Neste estudo foram usadas três metodologias: SMED, Taguchi e TRIZ.

Usando as potencialidades destas metodologias é possível alcançar melhores e otimizados os resultados. A escolha destas três metodologias deveu-se às suas especificidades individuais, muitas vezes usadas par-a-par, e pelas potencialidades coletivas usadas em situações diferentes nos processos de otimização.

O documento de dissertação terá como casos de estudo uma indústria de injeção de plásticos em moldes, mas o modelo pode ser aplicados a qualquer área de trabalho ou conhecimento. O diagrama será construído de forma genérica, passando sequencialmente por estas metodologias. Como modelo elucidativo, esta mesma indústria, para uma perceção clara da aplicação das técnicas. Será feita uma breve introdução histórica da indústria e das técnicas de injeção, respetivas máquinas e a moldação das peças.

A combinação das três metodologias resultará numa melhoria global do sistema, que individualmente, poderia não permitir uma solução tão boa.

## ***1.1 Enquadramento e justificação dos objetivos do estudo***

A melhoria contínua de produtos, processos e organizações, assim como a inovação e a necessidade de reduzir a variabilidade dos parâmetros dos processos, tornaram-se temáticas de grande relevo da gestão atual de empresas e organizações. Esta busca contínua de melhoria pode ser materializada através de aplicação de algumas novas metodologias e abordagens. O SMED, o TRIZ e Taguchi. Cada uma destas três metodologias já tem um historial importante de aplicação bem-sucedida em organizações. A aplicação conjunta destas três metodologias constituiu o objetivo principal e o âmbito do estudo presente. A construção de um modelo de utilização conjunta poderá ser importante para futuras aplicações em várias áreas e diversas atividades industriais e organizacionais.

Além da elaboração do modelo teórico, foram desenvolvidos dois casos de estudo relacionados com os processos de injeção de plásticos em moldes. Uma melhor aproximação à problemática destes processos foi conseguida na empresa Eugster / Frismag AG, sediada em Torres Vedras.

Uma vez que os casos de estudo foram realizados numa fábrica de injeção de moldes de plásticos, com dados quantificados e completados pela pesquisa bibliográfica de outras aplicações, o modelo foi testado com sucesso. O SMED tem como objetivo principal, essencialmente neste projeto académico, a otimização dos tempos de *setup*, permitindo reduzir ao mínimo o tempo real sem que haja necessidade de imobilizar uma máquina, passando todas as atividades internas, passíveis de ser realizadas previamente ou em paralelo, para externa. É necessário uma perceção clara entre todos os agentes envolvidos no projeto de melhorias, através de reuniões e análise dos problemas.

Existem diversos documentos, como por exemplo o que será abordado num dos casos de estudo, onde esta metodologia permite reduzir significativamente os tempos globais necessários para a realização da mesma tarefa.

O TRIZ é provavelmente das 3 metodologias propostas a mais ampla, uma vez que pode ser usada em diversos setores, inclusive não tecnológicos. A pesquisa exhaustiva de artigos permitiu a deteção de padrões. Uma filosofia baseada na expressão: “Não se vai reinventar a roda”. Isto, naturalmente, permite poupar tempo, primeiramente porque a pesquisa já está feita, e pelo menos, esse passo já foi ultrapassado, e ainda permite apresentar sugestões ou pistas pertinentes para quais os passos possam ser. E, se surgirem contradições nas medidas propostas, o sistema apresenta igualmente algumas inspirações de resolução através de certos princípios inventivos para que seja possível a harmonização de ambas as partes. A forma genérica como o TRIZ foi desenhado não permite

uma aplicação cega do método, desta forma o pensamento humano é necessário para que, individualmente, as sugestões possam ser analisadas e passadas do geral para o particular, se possível.

Como foi abordado num dos casos de estudo, por vezes, esta metodologia também contribui para a escolha dos parâmetros mais relevantes para serem analisados. Combinado com outras técnicas torna-se uma junção poderosa.

O primeiro passo será verificar a idealidade do sistema e perceber-se se existem aspetos que possam ser melhorados. O pensamento humano independente deve ser posto em prática de igual forma.

O TRIZ pode contribuir para o estabelecimento de parâmetros, mas caso não seja suficientemente preciso ou eficaz a metodologia do Taguchi terá um papel importante na sua perceção. Sequencialmente, esta a metodologia será a última a ser utilizada. Caso ainda não estejam estabelecidos os parâmetros mais relevantes ou se os mesmos podem se identificados de forma mais precisa, o Taguchi é utilizado. Uma técnica que permite perceber a melhor combinação entre parâmetros e valores sem que seja necessário a realização dos testes entre todas as opções. A qualidade ou característica pretendida será melhorada e o tempo de execução global melhorado.

## ***1.2 Contributos da dissertação***

Existem inúmeros exemplos e artigos onde a combinação das técnicas é amplamente usada, com o objetivo de conciliar as suas potencialidades. Qualquer uma das 3 metodologias referida no decorrer desta dissertação é bastante popular e com comprovadas vantagens. Mas o contributo científico deste documento será a junção das três metodologias em conjunto. Como referido, muitas vezes usadas par-a-par, mas agora esquematizadas num diagrama de bastante fácil compreensão a junção das mesmas. Estas permitem, não só adicionar valor no decorrer sequencial de cada, como se complementam entre si e preenchem eventuais incapacidades individuais, mostrando-se numa opção de gestão industrial poderosa e eficaz. A junção destas 3 metodologias em particular nunca foram sistematizadas de forma simples e visual num fluxograma que pode ter aplicabilidade em diversos sistemas.

### ***1.3 Estrutura da dissertação***

Com o objetivo de tornar uma leitura da dissertação o mais claro possível, a estrutura e a ordem que os capítulos e subcapítulos serão apresentados. Este capítulo refere-se à introdução com uma breve narração teórica de cada uma das metodologias propostas a ser usadas conjuntamente, das potencialidades e poder conjunto a ser apresentado ao mercado de engenharia e gestão e industrial.

O capítulo 2 pretende descrever com detalhe cada uma das metodologias, sendo especializadas nos respectivos subcapítulos as suas particularidades. O último subcapítulo desta parte, e por interesse de informação sobre a gestão da qualidade e percepção de opções existentes, será descrito de forma breve algumas de outras técnicas também utilizadas por grandes companhias.

No capítulo sobre “Utilizações conjuntas”, o terceiro desta dissertação, será feita uma breve descrição de combinação de apenas duas das técnicas. Neste caso, Taguchi-SMED e TRIZ-Taguchi. Como se verá nesse capítulo e respectivos subcapítulos serão utilizados casos reais referidos em distintos artigos. Os mesmos serão usados posteriormente como aplicações de casos de estudo na aplicação do modelo de utilização conjuntas (das 3 metodologias) com o objetivo de esclarecer as vantagens com valores reais.

A utilização conjunta e parte central desta dissertação encontra-se no capítulo 4, onde é apresentado um fluxograma de utilização conjunta dos modelos e explicada com detalhe onde se encontram cada uma destas nos respectivos subcapítulos.

Como explicada nesta introdução, 2 artigos servirão de base de trabalho de utilização de dados reais e será no 5º capítulo que será feita uma descrição detalhada dos mesmos e replicação de testes com valores apresentados. Para cada um dos casos de estudo, no subcapítulo de “proposta de melhoria ao modelo apresentado”, é explicada as vantagens da utilização e adição de outra metodologia às duas já utilizadas, com o objetivo de, claramente, mostrar as vantagens do modelo proposto pela dissertação.

No último capítulo relevante à dissertação, no sentido de parte teórica da mesma, são apresentadas as conclusões e discussão dos resultados, onde são resumidas as vantagens apresentadas pelos 2 casos de estudo, tanto pelo lado já publicado pelos 2 artigos existentes, como as vantagens de utilização simultânea das três metodologias conjuntamente.





## **Metodologias de Apoio à Gestão de Processos Industriais**

Neste capítulo será apresentado e descrito com detalhe cada uma das 3 metodologias propostas a ser usadas em conjunto. A ordem escolhida foi: TRIZ, Taguchi e SMED. De referi que a ordem escolhida foi arbitrária e não está relacionada com qualquer fator de importância, até porque cada uma apresenta resultados positivos de melhorias de sistemas de apoio à gestão de processos industriais. As suas especificidades serão apresentadas em subcapítulos.

Pelo interesse da discussão no quarto subcapítulo serão apresentadas sem detalhe algumas de outras metodologias que são recorrentemente utilizadas com o mesmo objetivo, assim como uma listagem de diversas outras metodologias usadas por grandes empresas.

## **2.1 Metodologia TRIZ**

TRIZ (*Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch*) é um acrónimo russo traduzido para Teoria Inventiva de Resolução de Problemas. É uma metodologia desenvolvida por Genrich S. Altshuller em 1946 na ex-URSS (Altshuller, 1994).

Esta abordagem vem da análise de mais de um milhão e meio de patentes, destas apenas 40 000 seriam soluções inventivas e o resto melhorias simples (Mazur, 1995), onde Altshuller pode concluir que inúmeros problemas já estariam resolvidos em diferentes campos usando o princípio de invenção, nomeadamente nas ciências:

- Da Natureza (Física, Química, Biologia)
- Humanas e sociais (Psicologia, Economia, Sociologia)
- Artificiais (Engenharia Mecânica, Aerodinâmica, Design, Arquitetura)

Por outras palavras, e seguindo o argumento de Altshuller, mais de 90% dos problemas já foram solucionados, porque não usar o tempo de uma forma mais efetiva!

De acordo com a Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), a base das patentes cobre 90 a 95 por cento dos resultados da investigação mundial. Fazer um bom uso das patentes pode reduzir o tempo de pesquisa a 60% e custos de investigação a 40% (White, 2005).

Atualmente nenhuma empresa pode abstrair-se e assistir de forma passiva ao desenvolvimento de novas tendências tecnológicas, sendo que todos os esforços devem ser concentrados no desenvolvimento de novos produtos, tecnologias e serviços ou na melhoria dos seus produtos. O TRIZ realça a posição competitiva de qualquer organização assente na tecnologia, portanto, muitas organizações líderes mundialmente têm estudado e utilizado o método TRIZ. Estas incluem, como por exemplo, a Allied Signal Aerospace Sector, Chrysler Corp., Emerson Electric, Ford Motor Co., General Motors Corp., Johnson & Johnson, Procter & Gamble, 3M, Siemens, Phillips, LG Rockwell International, UNISYS, Xerox Corporation e a Sony (Parkurbis, 2005)

O TRIZ pode ser ainda usada para a resolução de problemas práticos do dia-a-dia.

A metodologia é considerada como fator preponderante no mercado, com principal enfoque na inovação de produtos e aumento da produtividade (Fey, 2004) (Chap, 2005).

Podemos então considerar o TRIZ como uma filosofia ou uma coletânea de muitos e instrumentos.

### 2.1.1 Níveis de inovação

Altshuller sistematizou, desta forma, as soluções descritas nos registos de patentes e dividiu-as em cinco níveis:

- **Nível 1:** Soluções de rotina utilizando métodos bem conhecidos na respetiva área da especialidade. Cerca de 30% da totalidade.
- **Nível 2:** Pequenas correções em sistemas existentes recorrendo a métodos conhecidos na indústria. Cerca de 45% da totalidade
- **Nível 3:** Melhorias importantes que resolvem contradições em sistemas típicos de um dado ramo da indústria. Cerca de 20% da totalidade.
- **Nível 4:** Soluções baseadas na aplicação de novos princípios científicos. Cerca de 4% da totalidade
- **Nível 5:** Soluções inovadoras baseadas em descobertas científicas não anteriormente exploradas. Esta categoria constitui menos de 1% da totalidade.

A figura 2.1 ilustra a distribuição dos níveis inovação segundo a metodologia TRIZ.

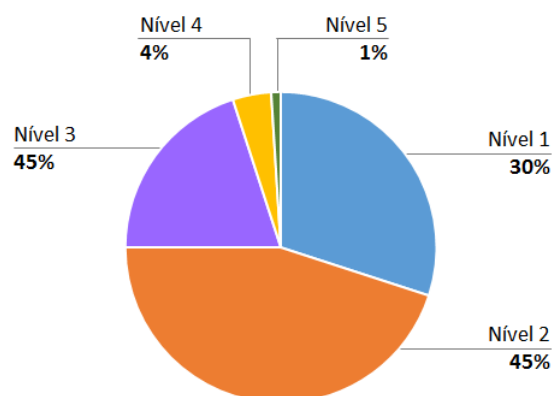
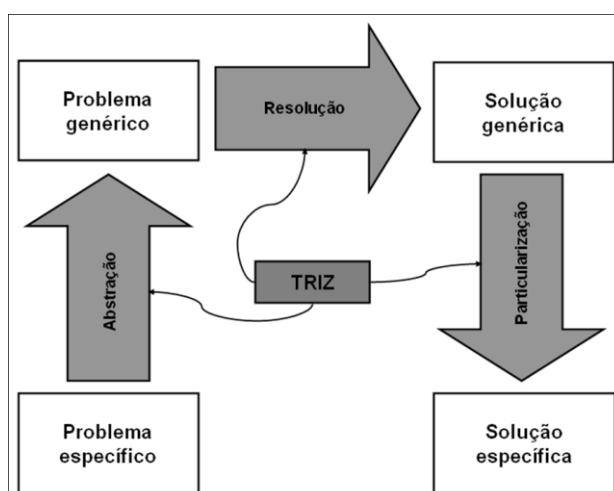


Figura 2.1 Níveis de inovação segundo TRIZ

O TRIZ tem por objetivo auxiliar a elaboração de projetos dos níveis 3 e 4, onde a simples aplicação de “boas práticas de engenharia” não produz resultados assinaláveis. Estes problemas contêm normalmente contradições técnicas fundamentais, isto é, a melhoria de um atributo do sistema leva à degradação de outros (Navas, 2013). Tradicionalmente, as contradições técnicas são resolvidas por via de compromisso, enquanto o TRIZ visa eliminar tal compromisso. No início do processo enfrenta-se uma situação que envolve incoerências que precisam de ser entendidas, as quais podem ser eliminadas modificando o sistema ou um dos seus subsistemas, o chamado contradições. A melhoria de um aspeto pode prejudicar outro. No método TRIZ, os problemas são divididos em problemas locais e problemas globais:

O problema é considerado local quando pode ser atenuado ou eliminado por modificação de um subsistema, mantendo os restantes inalterados. Este problema é classificado como global quando apenas se pode resolver pelo desenvolvimento de um sistema novo baseado num princípio de funcionamento diferente. Muitas vezes são procuradas resoluções para problemas de forma paralela para se encontrar rapidamente soluções já estabelecidas. No fundo, o TRIZ permitir encontrar soluções válidas mais rapidamente e com menos esforço. Mas, apesar de apoiar o pensamento, não o substitui (A.Orloff, 2005). As suas heurísticas (Processo criado com o objetivo de encontrar soluções para um problema) foram concebidas para uso humano, não computacional, porque a tecnologia nunca não consegue competir com o pensamento humano.

Quando uma solução paralela é descoberta, é adaptada para o problema particular de modo a se poder encontrar uma solução adequada no modelo para a resolução geral de problemas, como está sistematizado na figura 2.2.



**Figura 2.2 - Esquema Simplificado da Metodologia TRIZ**

A metodologia TRIZ pode ser adaptada para diferentes tipos de resolução de problemas. O método TRIZ é relativamente simples mas obriga o utilizador a pré-formular o problema em termos de parâmetros de engenharia padrão.

Ou como Pimentel referiu em 2004, a teoria de resolução de problemas pode seguir os seguintes procedimentos (Pimentel, 2004):

- Sistematizar o processo passo a passo;
- Guiar através do universo das soluções conhecidas para a solução ideal;
- Ser repetível, confiável e independente de ferramentas psicológicas;
- Dar acesso à base de dados das soluções inventivas;
- Adicionar novas informações à base de dados das soluções inventivas;
- Seguir passos habituais dos inventores, seguindo o processo normal de criação.

### **2.1.2 Aplicações informáticas do TRIZ de apoio à decisão**

Uma vez que o TRIZ é construído com uma base de dados de milhares de patentes, princípios, operadores, contradições, utilizar o *software* ajuda os engenheiros e inovadores com formação mínima a alcançarem resultados rapidamente.

Alguns exemplos e descrição de alguns dos pacotes de *software* disponíveis:

#### **Improver**

Ajuda a melhorar criações existentes, processos de produção, desempenho do sistema, sistema de qualidade, custo de produção, aplicações de patentes e características dos produtos.

#### **Ideator**

Ajuda a criar modelos abstratos de um sistema incluindo a formulação de contradições e visionamento da situação ideal. A idealização é um processo usado para aproximar o seu sistema o mais possível do ideal. O Miniguia da Inovação contém aproximadamente 100 aplicações técnicas de efeitos físicos, químicos e geométricos.

#### **Eliminator (Appetizer)**

O *Ideation Appetizer* é concebido para ajuda-lo a encontrar soluções verdadeiramente elegantes e inovadoras para problemas sem contrapartidas ou sacrifícios.

### **2.1.3 Contradições**

As contradições, os recursos, os padrões de evolução e a idealidade são os principais conceitos do TRIZ. Verifica-se então que qualquer processo de resolução deve ser aplicado um destes conceitos referidos (Carvalho, 2007) (Ibevbare, 2013).

A contradição é um dos princípios base do TRIZ, o problema técnico é definido pelas contradições existentes. Uma contradição surge quando se procura melhorar uma característica ou parâmetro mas em contrapartida ocorre a deterioração de outra característica do sistema ou quando ocorre uma incompatibilidade entre as características.

Existem vários tipos de contradições, mas para o TRIZ clássica as principais dividem-se em contradições técnicas e contradições físicas (Barry, 2008) ou em contradições administrativas (Savranski, 2000).

Uma contradição técnica ocorre quando se tenta melhorar determinada propriedade mas acaba por traduzir-se numa deterioração de outros parâmetros. Esta contradição ocorre:

- Na criação de uma função útil num subsistema faz com que seja também criada uma função prejudicial ou que intensifique uma função prejudicial já existente noutro subsistema.
- Na eliminação (redução) de uma função nociva provoque a deterioração de outra função útil noutro subsistema.

A contradição física ocorre quando existem inconsistências para a condição física do mesmo Sistema, por exemplo na:

- Intensificação de uma função útil num subsistema, e simultaneamente, ocorre uma intensificação de uma função prejudicial existente no mesmo subsistema.

- Redução de um sistema prejudicial num subsistema e, simultaneamente, haverá uma redução da função útil no mesmo subsistema chave.

Podem ainda ser relatadas contradições administrativas no surgimento da procura de uma solução quando:

- Existe uma relação entre qualidade de produção e diminuição de custos das matérias-primas, onde a resolução do problema passa por uma situação criativa. Neste caso, a própria contradição administrativa é aplicada de um modo heurístico e provisório, procurando dar uma resposta viável.

#### **2.1.4 Recursos**

Outro conceito fundamental do TRIZ prende-se com a mobilização dos recursos necessários para o processo como parte do sistema. É considerado importante seguir uma abordagem sistemática na procura de recursos. A pesquisa de recursos tem como foco a compreensão dos requisitos de funções da solução que se pretende alcançar (Gadd, 2011).

Os recursos podem ser agrupados da seguinte forma (Savranski, 2000):

- Os recursos naturais ou ambientais;
- Os recursos do sistema;
- Recursos funcionais;
- Recursos de substâncias;
- Recursos energéticos / campo;
- Recursos temporais;
- Recursos espaciais;
- Os recursos de informação.

### 2.1.5 Padrões de evolução e idealidade

Novamente Altshuller em 1999 encontrou semelhanças nos padrões de evolução dos sistemas tecnológicos como desenvolvimento de um sistema. É, então, possível, através da identificação de padrão de um sistema prever-se como irá ocorrer o desenvolvimento, provocando um comportamento antecipado do seu futuro (Rantanen, 2010).

Altshuller (1999) formulou oito padrões de evolução através de exemplos:

- Evolução em estágios;
- Idealidade crescente;
- Desenvolvimento não uniforme de subsistemas;
- Dinâmica e controlo crescentes;
- Complexidade crescente, seguida de simplicidade (Redução);
- Combinação e desagregação de partes;
- Transição para microssistemas e uso crescente de campos;
- Envolvimento humano decrescente.

O princípio da idealidade é usado para que se possa ter um parâmetro de comparação para as soluções encontradas, que é a solução ideal. A idealidade no TRIZ consiste numa máquina ideal, num método ideal, num processo ideal, numa substancia ideal ou numa técnica ideal. Concretamente na obtenção dos efeitos desejados, sem massa, volume, gasto de tempo e espaço, gasto de energia, necessidade de manutenção ou custo.

Uma técnica ideal representa o resultado máximo que não pode ser atingido, mas que serve como parâmetro para se saber o quanto a solução adotada é aceitável. Para medir a idealidade de uma técnica podemos usar a seguinte equação, onde  $\sum UF$  representam as funções úteis e  $\sum HF$  representam as funções prejudiciais (Savranki, 2000):

Sem nome, ao lado

**Equação 1 - Idealidade**

$$idealidade = \frac{\sum UF}{\sum HF}$$



Com este sentido, na idealidade pode ser considerada, também custos e efeitos indesejáveis.

Neste caso teremos a seguinte equação (Savranki, 2000):

**Equação 2 – Idealidade com custo e efeitos indesejáveis.**

$$idealidade = \frac{\sum Benefícios}{\sum Despesas + \sum EfeitosIndesejáveis}$$

### **2.1.6 Princípios de invenção**

Altshuller constatou que, apesar da grande diversidade tecnológica, havia apenas 1250 conflitos típicos de sistema. Além disso, identificou 39 parâmetros técnicos ou atributos de produto que os engenheiros geralmente tentam melhorar.

1. Peso (objeto móvel)
2. Peso (objeto imóvel)
3. Comprimento (objeto móvel)
4. Comprimento (objeto imóvel)
5. Área (objeto móvel)
6. Área (objeto imóvel)
7. Volume (objeto móvel)
8. Volume (objeto imóvel)
9. Velocidade
10. Força
11. Tensão, pressão
12. Forma

13. Estabilidade do objeto
14. Resistência
15. Durabilidade (objeto móvel)
16. Durabilidade (objeto imóvel)
17. Temperatura
18. Claridade
19. Energia dispensada (objeto móvel)
20. Energia dispensada (objeto imóvel)
21. Potência
22. Perda de energia
23. Perda de massa
24. Perda de informação
25. Perda de tempo
26. Quantidade de matéria
27. Fiabilidade
28. Precisão de medição
29. Precisão de fabrico
30. Fatores prejudiciais que atuam sobre o objeto
31. Efeitos colaterais prejudiciais
32. Manufaturabilidade
33. Conveniência de uso
34. Reparabilidade
35. Adaptabilidade
36. Complexidade do dispositivo
37. Complexidade no controlo

38. Nível de automação

39. Produtividade parâmetros técnicos segundo o triz

Todos os 1250 conflitos podem ser resolvidos através da aplicação de somente 40 Princípios de Invenção, muitas vezes chamados de Técnicas para Vencer Conflitos de Sistema (TVCS). Contudo, a maior parte dos princípios de invenção da têm um significado técnico específico introduzido por Altshuller.

Segundo Carvalho e Black, em 2001, os princípios inventivos são heurísticas, ou sugestões, de possíveis soluções para um determinado problema. Estes princípios surgiram a partir da generalização de soluções usadas em diferentes áreas.

1. Segmentação
2. Extração
3. Qualidade local
4. Assimetria
5. Combinação
6. Universalidade
7. Nidificação
8. Contrapeso
9. Contra-ação prévia
10. Ação prévia
11. Amortecimento prévio
12. Equipotencialidade
13. Inversão
14. Esfericidade
15. Dinamismo

16. Ação parcial ou excessiva
17. Transição para uma nova dimensão
18. Vibrações mecânicas
19. Ação periódica
20. Continuidade de uma ação útil
21. Corrida apressada
22. Conversão de prejuízo em proveito
23. Reação
24. Mediação
25. Autosserviço
26. Cópia
27. Objeto económico com vida curta em vez de outro dispendioso e durável
28. Substituição do sistema mecânico
29. Utilização de sistemas pneumáticos ou hidráulicos
30. Membranas flexíveis ou películas finas
31. Utilização de materiais porosos
32. Mudança de cor
33. Homogeneidade
34. Rejeição e recuperação de componentes
35. Transformação do estado físico ou químico
36. Mudança de fase
37. Expansão térmica
38. Utilização de oxidantes fortes
39. Ambiente inerte
40. Materiais compósitos princípios de invenção do triz

Segundo Savranki (2000), os princípios inventivos não representavam um sistema. A numeração dada apenas indicava a ordem em que eles foram acrescentados à TRIZ. Estes princípios foram, então, classificados pelos seus atributos funcionais em:

1. Princípios que relacionam todo-parte de um sistema técnico;
  - 1.1. Hierarquia de subsistemas;
  - 1.2. Características qualitativas de subsistemas.
  - 1.3. Relações espaciais entre subsistemas;
  - 1.4. Fenômenos ou materiais especiais;
2. Relações entre campos de subsistemas de um sistema técnico;
  - 2.1. A direção da interação;
  - 2.2. A taxa e ritmo característicos das interações;
  - 2.3. Características qualitativas das interações;
  - 2.4. Formas de realizar as interações;
3. Relações de informação em um sistema;
  - 3.1. Tipos de comunicação;
  - 3.2. Formas de realizar comunicação.

Os princípios inventivos podem ser aplicados na solução de problemas de uma forma direta e através da matriz de contradições. A aplicação direta dos princípios inventivos é baseada na experiência do projetista ou inventor. O uso direto consiste na escolha de um princípio que pode ser apropriado e a verificação do efeito desta aplicação. Caso o efeito não seja o desejado, outro princípio pode ser aplicado.

### **2.1.7 Matriz de contradições**

É uma ferramenta desenvolvida por Altshuller em 1999 que facilita a identificação dos princípios que possam ser aplicados na solução de um problema.

É necessária a identificação de uma contradição física para ser formulada em termos de um parâmetro de engenharia. Estes parâmetros são as características envolvidas nos problemas como o peso de um objeto em movimento, velocidade, confiabilidade. A contradição é descrita como a grandeza que é melhorada e a que piora no decorrer dessa mesma melhoria.

A matriz de contradições possui um eixo com os parâmetros de engenharia a ser melhorados, outro com os parâmetros que pioram devido ao efeito colateral. A matriz de contradições é usada, então, para encontrar princípios inventivos para tentar resolver a contradição. A aplicação da matriz é feita da seguinte forma: procura-se no eixo Y, o parâmetro a ser melhorado e procura-se no eixo X o parâmetro que piora devido à sua contradição, e na célula que corresponde ao cruzamento, são encontrados princípios inventivos que podem ser aplicados na solução da contradição.

A Matriz de contradições, com a respectiva combinação com os Princípios Inventivos, estão na totalidade nos anexos subcapítulo 8.1.

### **2.1.8 Algoritmo de Resolução Criativa de Problemas**

O Algoritmo de Resolução Criativa de Problemas (ARIZ) é uma ferramenta analítica importante para a solução de problemas. O ARIZ coloca ênfase na reformulação de problemas com o objetivo de revelar a origem dos mesmos

O ARIZ (Apte, 2013) é o instrumento analítico central do TRIZ. É um procedimento sistemático para identificar soluções sem contradições aparentes. Dependendo da natureza do problema, desde cinco a sessenta passos podem estar envolvidos.

Os passos básicos incluem:

- Formular o problema
- Transformar o problema num modelo
- Analisar o modelo
- Resolver contradições físicas
- Formular a solução ideal.

O ARIZ é um programa algorítmico sequencial, que descreve o procedimento de ações que devem ser feitas para identificar e resolver as contradições, ou seja, para resolução inventiva de problemas. O ARIZ é um processo lógico estruturado, que faz evoluir, de forma incremental, um problema complexo para um ponto em que se torna simples de resolver.

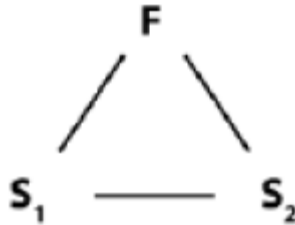
### **2.1.9 Análise Substância-Campo**

A análise Substância-campo é uma ferramenta do TRIZ original e tem como objetivo modelar problemas relacionados com sistemas tecnológicos existentes, com uma abordagem gráfica. Os sistemas são criados para executar funções específicas.

Para a aplicação desta ferramenta é necessário passar pelas etapas de construção dos modelos funcionais, que são as seguintes (Altshuller, 1999):

- Construção do diagrama de Substância-Campo;
- Identificação da situação problemática;
- Escolha de uma das opções genéricas (soluções standard);
- Desenvolvimento de uma solução específica para o problema.

Desta forma, é possível simular ou modelar, através das duas substâncias e forças, a função (F) desejada de saída de uma substância existente (S1), causadas por um outro objeto (S2) (Altshuller, 1999). Como está demonstrado na figura 2.3, de uma forma visual.



**Figura 2.3 – Função causada por uma substância**

De uma forma genérica, as substâncias S1 e S2 envolvidas na interação podem ser:

- Material;
- Ferramenta;
- Componente;
- Pessoa;
- Ambiente.

Em geral, o campo F que atua sobre as substâncias pode ser por exemplo:

- Mecânico;
- Térmico;
- Químico;
- Elétrico;
- Magnético.





A interação ocorre quando uma substância atua sobre outra e esta interação traduz benefícios ou prejuízos. O diagrama pode ser interligado através de diferentes tipos de linhas ou, eventualmen-



te nem estar ligar, consoante os problemas ou soluções encontradas e identificados. Esta solução padrão pode corrigir problemas removendo ou adicionando campos (Ball, 2009).

**Tabela 2.1 - Simbologia Usada em Diagramas Substância-Campo**

Adaptado de (Navas, 2010)

Símbolos	Significado
	Ação ou defeito desejado
	Ação ou efeito desejado insuficiente (ineficiente)
	Ação ou efeito prejudicial
	Operador de solução

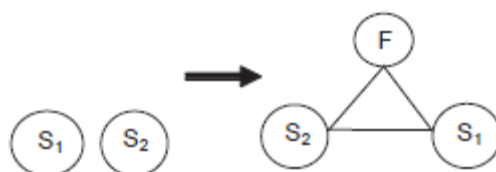
Existem 76 Soluções-Padrão, mas podem ser generalizadas em 7 soluções gerais (Navas, 2010) (San, 2009).

**Tabela 2.2 – Soluções Padrão**

Adaptado de (Navas, 2010)

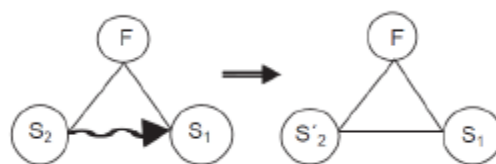
Melhoria do sistema com pouca ou nenhuma mudança	13 soluções padrão
Melhoria do sistema através de mudanças	<b>23 soluções padrão</b>
Transições do sistema	<b>6 soluções padrão</b>
Deteções e medidas	<b>17 soluções padrão</b>
Estratégias para simplificar e melhorar	<b>17 soluções padrão</b>
Total	<b>76 soluções padrão</b>

Solução 1 – Completar um modelo Substância-Campo que se encontro incompleto. Demonstrado pela figura 2.4.



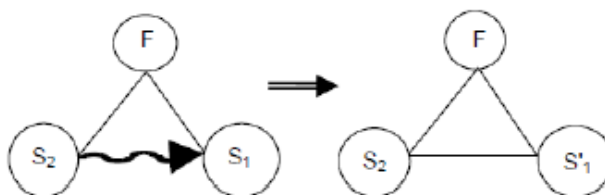
**Figura 2.4 - Substância-Campo incompleta**

Solução 2: Modificar a substância S2 para eliminar/ reduzir o impacto negativo ou então para produzir/ melhorar o impacto positivo. Demonstrado pela figura 2.5.



**Figura 2.5 - Substância-Campo para reduzir impacto modificando S2**

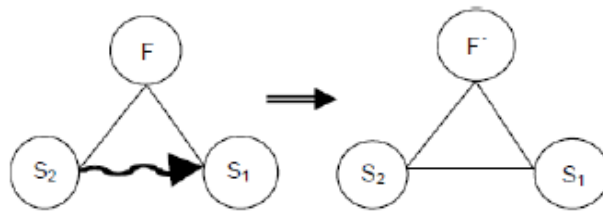
Solução 3: Modificar a substância S1 para eliminar/ reduzir o impacto negativo ou então para produzir/ melhorar o impacto positivo. Demonstrado pela figura 2.6.



**Figura 2.6 - Substância-Campo para reduzir impacto modificando S1**

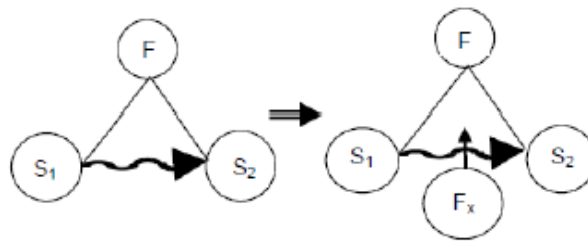
Este tipo de solução é similar à solução geral 2, nesta interação a substância 1 é modificada de modo a ser menos suscetível ou até indiferente um impacto prejudicial. Esta mudança pode ser interna ou externa, temporária ou permanente.

Solução 4 - Modificar o campo F para reduzir ou eliminar o impacto negativo. Como se vê na figura 2.7.



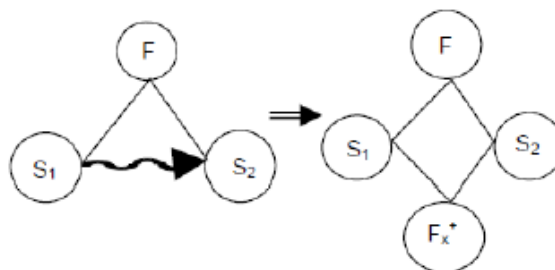
**Figura 2.7 – Modificar Substância-Campo para eliminar impacto negativo**

Solução Geral 5 - Eliminar, neutralizar ou isolar o impacto negativo utilizando outro campo  $F_x$  que interaja com o sistema. Como consta na figura 2.8.



**Figura 2.8 - Substância-Campo que interage com outro sistema**

Solução Geral 6 – Introduzir um novo campo positivo.



**Figura 2.9 - Substância-Campo com novo campo positivo**

Solução Geral 7 – Expandir um modelo Substância-Campo existente para um novo sistema em cadeia, segundo representado pela figura seguinte.

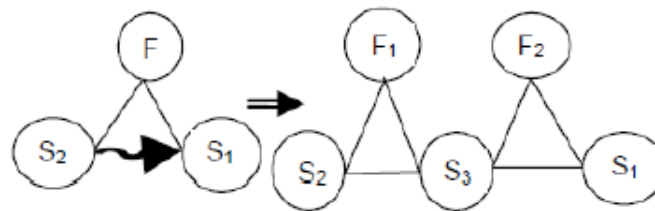


Figura 2.10 - Substância-Campo com novo sistema em cadeia

## **2.2 Metodologia Taguchi**

O método de Taguchi vem completar o estudo de melhoria de produtividade baseada na produção magra e ágil, atuando na fase do processo, onde o SMED (esta técnica vai ser desenvolvida no subcapítulo 2.3) não tem efeito, precisamente na sua regulação dos parâmetros de produção, a operação que antecede a produção da primeira peça aceitável. Sendo, desta forma, uma aplicação deste método importante quando se fala em melhoria de produtividade, performance, redução de custos e sobretudo do número de testes necessários para se atingir o objetivo final. (Taguchi, 1991).

*"Qualidade é a perda imposta á atividade a partir do momento em  
que o produto é expedido"* Dr. Genichi Taguchi

Este método permite melhorar as características de um processo ou de um produto através da identificação e ajuste dos seus fatores controláveis, que irão minimizar a variação do produto final em relação ao seu objetivo. Ao ajustar os fatores no seu nível ótimo, os produtos podem ser fabricados de maneira a que se tornem mais robustos a variáveis incontrolável como condições ambientais, variação dimensional, tempos de acondicionamento, etc. (Snee, 1993) (Castro, 2001).

Através do conceito de menos desperdício resulta em maior lucro, Genichi Taguchi, popularizou sua metodologia da qualidade com o conceito da função perda, focalizando o impacto da variação da qualidade que pode acarretar perdas para a sociedade, apesar de ser uma ferramenta passiva, na medida que ela sozinha não proporciona melhorias no processo.

A figura seguinte representa a função perda de Taguchi.

Fonte: CEP - Controlo Estatístico de Processo, 2010

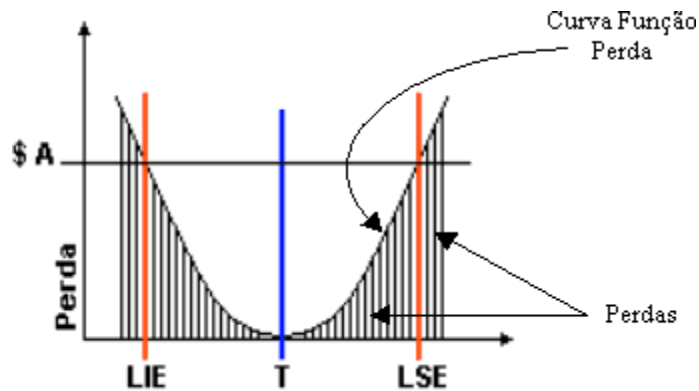


Figura 2.11 – Função perda de Taguchi

Taguchi aponta que, mesmo o produto esteja dentro dos limites de especificação, há um custo definido para a sociedade, uma vez que está exatamente no seu valor nominal.

Quanto mais longe do nominal, maior o custo. Com o uso desta função perda, uma expressão matemática pode declarar, particularmente com objetivos de gestão, o valor monetário da consequência de qualquer aperfeiçoamento na qualidade.

Apesar desse valor monetário não representar uma perda virtual ou dano, pode representar um índice de desempenho que pode ser facilmente usado para uma melhor tomada de decisão, uma vez que permite e concentra-se na redução dos custos.

A seguinte figura, representa de uma forma visual, com produtos que usamos no dia-a-dia, neste caso uma peça de fruta, como a fórmula pode satisfazer ou concretizar os produtos ideais dos menos satisfatórios. Neste caso o LSL e o USL representam os limites aceitáveis, inferiores e superiores, respetivamente.

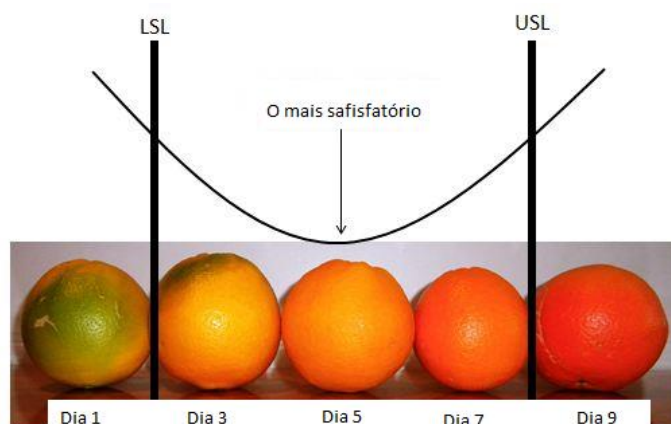


Figura 2.12 Figura de Lean Manufacturing and Six Sigma Definitions

Na indústria, uma das áreas atualmente em desenvolvimento, está relacionada com aplicação das modernas técnicas de controlo de qualidade *off-line* nos produtos processos. A maioria das ideias para estas técnicas de controlo de qualidade foram desenvolvidas por W.E. Deming. Foram posteriormente desenvolvidas pelo Dr. Genichi Taguchi. Deming convenceu as empresas a usar o controlo estatístico nos processos produtivos. A Variabilidade é entendida como "a diferença, mesmo que mínima, encontrada na medição de vários objetos do mesmo tipo, produzidos pelo mesmo processo" (Deming, 2003). Taguchi recua na produção para a conceção reajustando os produtos de forma robusta contra a variação sistemas produtivos e das condições finais em que vão ser utilizados pelo consumidor.

Os 4 pontos principais da filosofia da qualidade de Taguchi são (Barçante, 2009):

- Num mercado competitivo, a melhoria contínua da qualidade e a redução de custos são necessárias para que as empresas sobrevivam.
- Uma medida importante da qualidade de um determinado artigo produzido é o custo total que esse artigo infringe na sociedade.
- A perda de um consumidor devido a má qualidade é aproximadamente igual ao quadrado do desvio da sua característica de performance em relação ao seu objetivo ou valor nominal.
- A variação da performance de um produto onde um serviço pode ser reduzido, se observarmos os efeitos não lineares que os fatores (parâmetros) têm nas características de performance. Qualquer pequeno desvio do valor objetivo, conduz a uma qualidade.

Para Feigenbaum (1994), a qualidade é uma filosofia de gestão e um compromisso com a excelência. Como paralelo de suas contribuições com a abordagem sistêmica das organizações, seu conjunto de elementos interdependentes e que interagem com os objetivos comuns da organização são:

1. É o único objetivo da organização;
2. É determinada pelos clientes;
3. Pressupõe trabalho em grupo (círculos de qualidade);

4. Exige o comprometimento da alta direção;
5. Exige o aumento da capacidade de decisão dos trabalhadores e redução dos níveis hierárquicos. (Feigenbaum, 1994).

### 2.2.1 Projeto de tolerâncias

(Adaptado de CEP - Controlo Estatístico de Processo, 2010)

O projeto de tolerâncias ou função de perdas de Taguchi são meios de reduzir variações, através do controlo de causas, com aumento direto do custo. Permite determinar as tolerâncias dos valores normais selecionados na fase de projeção dos parâmetros (Taguchi, 1986).

A função perda de Taguchi estabelece uma medida financeira para o cálculo do desvio de uma característica do produto com relação ao valor nominal e tem como base a otimização do rácio Custo/Performance, utilizando a tecnologia do planeamento de experiências (Kackar, 1986) (Taguchi, 1991).

Pode ser descrita como **Nominal-é-melhor**:

(Adaptado de CEP - Controlo Estatístico de Processo, 2010)

#### Equação 3 - Nominal-é-melhor

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \times (y - m)^2$$

Esta fórmula pode ser aplicada a uma peça ou produto, como também ao custo médio associado uma unidade.

Exemplos de tipos de problemas Nominal-é-melhor:

- Controlo do fluxo de aerossol numa lata de spray
- Tornear o cilindro de um motor para atingir um determinado diâmetro
- Controlar o diâmetro dum filamento de uma lâmpada



- Controlar a viscosidade de um óleo automóvel

Sendo  $K = \frac{A_0}{\Delta_0^2}$ , a função custo final para  $n$  unidades produzidas vai ser:

#### Equação 4 – Função custo final

$$L(y) = K[S^2 + (\bar{y} - m)^2]$$

Para reduzir custos, a expressão  $[S^2 + (\bar{y} - m)^2]$  tem de ser minimizada. E pode ser realizada através da redução da variação que está a causar essa dispersão no valor  $\bar{y}$  ou minimizando o  $S^2$  ou ajustando a resposta média  $\bar{y}$ , para se aproximar a do valor objetivo  $m$ ,  $(\bar{y} - m)^2 = 0$  (Fowlkes, 1995).

Foram desenvolvidas várias expressões que permitem a transformação dos dados numa razão sinal-ruído, dependendo do tipo de característica da qualidade, sendo as mais conhecidas as seguintes: Menor-é-melhor, Nominal-é-melhor e Maior-é-melhor (Ross, 1988).

#### Menor-é-melhor:

#### Equação 5 – Menor-é-melhor

$$L(y) = K(y)^2$$

Quando as respostas não têm valores negativos, a resposta ideal será 0 (Fowlkes, 1995).

Quando os valores de  $y$  se afasta do 0, a performance piora e o custo aumenta.

Exemplos de tipos de problemas Menor-é-melhor.

Fuga de radiações no micro-ondas

Quantidade de papel encravado na copiadora

Defeitos numa figura

Poluição do sistema de exaustão dum automóvel

Vibração na coluna de direção

Corrosão nos materiais

Esta função também pode ser aplicada apenas numa peça ou produto, mas o custo médio associado pode ser usado em mais do que uma unidade.

Onde  $K = \frac{A_0}{\Delta_0^2}$ , a função custo final para diversas unidades reproduzida vai ser:  
$$L(y) = K[S^2 + (\bar{y})^2]$$

Sendo o desvio da média em relação a zero o valor ideal para  $\bar{y}$  será também zero.

### **Maior-é-melhor**

#### **Equação 6 - Maior-é-melhor**

$$L(y) = A_0 \Delta_0^2 \left( \frac{1}{(y)^2} \right)$$

Neste caso, à medida que o valor da performance se aproxima do infinito, o custo da qualidade tende para zero. (Fowlkes, 1995).

Exemplos de tipos de problemas Maior-é-melhor.

Força de aderência

Força de uma junta soldada

A capacidade de tração de um pneu

Número de quilómetros feitos com 1L de gasolina

Resistência à corrosão duma carroçaria

Pode ser aplicada igualmente numa peça ou produto e o custo médio também pode ser associado a uma unidade.

Onde  $K = A_0 \Delta_0^2$ , o custo final das unidades representadas por:

#### **Equação 7 - Nominal-é-melhor-assimétrico**

$$L(y) = K \left( 1 + \frac{3S^2}{\bar{y}^2} \right)$$

#### **Nominal-é-melhor-assimétrico**

Neste caso, a performance pode causar mais danos, uma vez que é desviada do seu valor objetivo inicial:

#### **Equação 8 - Nominal-é-melhor-assimétrico.**

$$L^+(y) = K^+ (y - m)^2, y > m$$
$$L^-(y) = K^- (y - m)^2, y \leq m$$

Exemplos de tipos de problemas Nominal-é-melhor-assimétrico.

A quantidade de toner que uma fotocopiadora usa para reproduzir uma figura. Muito toner vai aumentar o custo do mesmo, que vai ser mais dispendioso, pouco toner, vai produzir imagens deficientes, que vai dar origem a uma rejeição imediata

Variação da temperatura de um frigorífico. Estraga-se mais comida se a temperatura subir acima do seu valor nominal, do que se ela baixar.

Este método parametriza a qualidade de um produto ou processo com base no planeamento de experiências, enquanto as outras práticas coincidem apenas a inspeção final do produto ou processo. Taguchi refere-se ao método como "*Off-line quality control*" (Kackar, 1985), devido à sua apli-

cação ser realizada recorrendo a uma pequena amostra proveniente de uma fase experimental, que tem níveis de qualidade com uma variância elevada quando comparada com as peças obtidas na linha de produção (*“on-line quality control”*). A qualidade ideal seria, no limite, obtida realizando todas as combinações possíveis de regulação do processo quem fossem testadas e analisadas. Mas isso iria implicar longos tempos de preparação e custos inoportáveis (Roy, 1947). Este ponto será detalhado mais à frente.

Esta metodologia pode ser resumida em 3 passos:

#### 1 Desenho de sistema

Onde é procedida a seleção dos processos com base na tecnologia e custos existentes.

#### 2 Desenho paramétrico

Nesta fase é decidida a combinação operatória ótima para cada componente. Permite reduzir a variabilidade na qualidade, aumentar capacidade do processo e minimizar o ruído.

#### 3. Desenho de tolerâncias

São analisadas as tolerâncias do processo bem como as fontes de variação de qualidade. Se as tolerâncias obtidas no desenho paramétrico não forem suficientes, medidas económicas poderão ser tomadas com a finalidade de remover as fontes de variação.

### **2.2.2 Sinais de ruído**

Produzindo com determinados objetivos ou requisitos de maneira a minimizar a variação da performance de um determinado produto, vai-se aumentar a qualidade e a satisfação dos clientes. A essa variação ele chama ruído ou perturbação (Taguchi, 1986), como visualmente percebemos na figura 2.13.

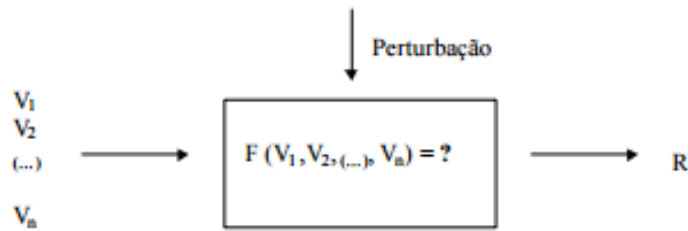


Figura 2.13 - Esquema representativo do sistema

Segundo Taguchi, 3 tipos de ruídos podem ser definidos:

**Ruído externo:** Variáveis ambientais ou condições de uso que, perturbam as funções do produto (temperatura, humidade, poeira, etc.).

Por exemplo: Fatores ambientais ou uso pelo do cliente que podem resultar numa deterioração ou desgaste do produto.

**Ruído interno:** mudanças que sucedem como resultado de um desgaste.

Variações de fabricação ou de peças.

**Ruído peça-a-peça:** Diferenças entre produtos que, são fabricados de acordo com as mesmas especificações (Adaptado de Castro, 2001)

A função de perda de Taguchi (perda para a sociedade), e os rácios de sinal – de – ruído ( S/N ) são elementos críticos deste procedimento de otimização.

O rácio S/N é uma medida de performance, que serve para escolher os níveis dos fatores que melhor se comportam com o ruído. Este rácio depende da média e da variabilidade.

São definidas essencialmente 3 formas de funções de perda:

Quanto – menor – melhor: (níveis de impurezas, defeitos encontrados, etc.)

Quanto – maior – melhor: (eficiência de combustíveis, resistência á corrosão, etc.)

Quanto – nominal – melhor: (Diâmetro interior/exterior, nível de humidade, etc.)

Para cada uma destas 3 categorias de Sinal de ruído - ruído, cada transformação é expressa em decibéis (dB), em vez de unidades observadas.

(Adaptado de Castro, 2001)

**Menor é melhor**

**Equação 9 - Menor é melhor**

$$\eta = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

**Maior é melhor**

**Equação 10 - Maior é melhor**

$$\eta = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right)$$

**Nominal é melhor**

**Equação 11 - Nominal é melhor**

$$\eta = 10 \log_{10} \left( \frac{\bar{Y}^2}{s^2} \right), \text{ (só com valores positivos)}$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Y_i \quad \text{e} \quad s^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (Y_i - \bar{Y})^2$$

onde ;

$$\eta = -10 \log \left[ \frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (Y_i - \bar{Y})^2 \right]$$

ou , ( para valores positivos e negativos ).

$\eta$  = Transformação sinal – de – ruído, medido em decibéis (dB), e para todas as situações quanto maior melhor.

$r^*$  = Número de combinações de observações da matriz externa, usada em cada combinação da matriz interna.

$Y_i$  = i-ésima resposta observada para cada combinação numa matriz interna

$\bar{Y}$  = Média das respostas observadas para cada combinação numa matriz interna

$s^2$  = Variância das respostas observadas para cada combinação numa matriz interna

Como já referido anteriormente e, no fundo, tem como principal aplicação nos conhecimentos de engenharia para a produção de um projeto básico de um protótipo funcional, com meios e custos reduzidos. Os parâmetros requerem uma experiência para avaliação dos efeitos dos fatores de ruídos nas características de performance dos processos ou produtos. A experiência permite selecionar os níveis ótimos do projeto, de uma maneira funcional, que tenha um alto nível de performance independente e que seja robusto aos fatores do ruído.

Sem a aplicação de qualquer técnica, assumindo a técnica de tentativa e erro, o processo torna-se demasiado dispendioso, demorar e, eventualmente, inútil, uma vez que não exclui, por desconhecimento, os parâmetros irrelevantes para a otimização, até se chegar à combinação ótima, com um sistema operacional e funcional.

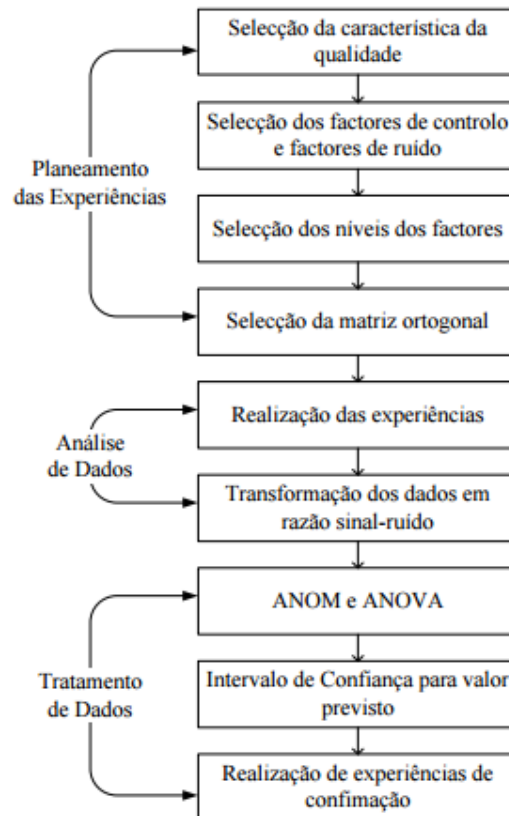
Se um projetista estiver a estudar 13 parâmetros de controlo, e cada um tiver 3 níveis, variando 1 facto de cada vez, significaria estudar 1.594.323 configurações experimentais  $(3^{13})$  (Peace, 1993). É óbvio que o tempo e os custos envolvidos na condução de um estudo tão detalhado são proibitivos.

Através de matrizes ortogonais, Taguchi, baseado na teoria do projeto de experiências, reduz significativamente o número de experiências, em que a quantidade de colunas nessas matrizes, representa o número máximo de fatores que podem ser estudados.

Segundo Peace (1993), o planeamento da experiência envolve, e também descrito na figura abaixo:

- Formação da equipa de trabalho;

- Determinação dos objetivos;
- Identificação da característica da qualidade;
- Determinação dos métodos de medição;
- Seleção de variáveis independentes;



**Figura 2.14 – Esquema Métodos de Taguchi**

**(Adaptado de Wu et al (2005))**



## 2.3 Metodologia SMED

O SMED (Shingo, 1985) é uma nomenclatura para *single minute exchange of die* (troca rápida de ferramentas) que se refere a uma ferramenta, também conhecida por *quick changeover*, e têm sido desenvolvidas no sentido de generalizar organizações da indústria respondendo às exigências do mercado, como a redução de quantidades de *stock*, tempos, custos de produção ou ainda na preparação de máquinas, equipamentos e linhas de produção. Tem ainda o objetivo a melhoria das condições de *setup* realizados com a intenção referida anteriormente. Os efeitos da ação podem ser sentidos a médio ou longo prazo.

Foi elaborada ferramenta elaborada inicialmente por Taiichi Ohno, considerado o maior responsável pela criação do Sistema Toyota de Produção, e, mais tarde, consolidada por Shigeo Shingo (1989) que revolucionou as práticas de produção devido às diversas contribuições na área.

Shigeo Shingo desenvolveu ainda o conceito para diversos processos de montagem de automóveis japoneses. Observou que os processos eram longos e demorados na mudança das prensas que causam impacto nos lotes produzidos.

A metodologia SMED produz efeitos imediatos e diretos para melhorar o aumento do tempo disponível para a produção e na redução do tempo efetivo do ciclo produtivo. Assim, é visível um aumento da produtividade e na adaptação nas proporções.

Shingo shingo distingue três etapas para o desenvolvimento da (Raul Lopes, 2013) de produção às flutuações da procura, numa ótica de JIT (*Just In Time*) (Ohno, 1978).

Shigeo, na primeira etapa, identificou que as operações centravam-se essencialmente em duas categorias:

Internas – montagem e desmontagem que só eram possíveis com a máquina parada;

Externa – transporte entre a área de armazém das peças e a máquina, com a possibilidade de ser efetuada com a máquina em funcionamento.

A segunda etapa foi no estaleiro da Mitsubishi Heavy Industries, em Hiroshima em 1957, na qual foi realizada a duplicação de ferramentas para que o *setup* fosse feito separadamente, originando um aumento de 40% na produção.

Na terceira, em 1969, na Toyota Motors Company, em que cada operação de *setup* de uma prensa de 1.000 toneladas exigia quatro horas de trabalho, enquanto uma prensa similar na Volkswagen exigia apenas duas horas. Numa primeira fase do seu trabalho de consultoria, Shingo conseguiu uma redução desse tempo para 90 minutos. Após exigência da diretoria da Toyota, aplicaram-se mais esforços na redução do tempo, originando o conceito de conversão de *setup* interno em *setup* externo, isto é, a transferência de algumas atividades com a máquina parada para a altura em que esta estivesse ainda a funcionar. Considerou então que houve uma redução do tempo da máquina parada para três minutos.

O tempo de *setup* é definido como o tempo decorrido entre a saída, da máquina, do último produto A até a saída do primeiro produto B com qualidade. A figura seguinte representa o tempo de *setup* (Mcintosh, et al., 2001), como está descrito na figura 2.15.

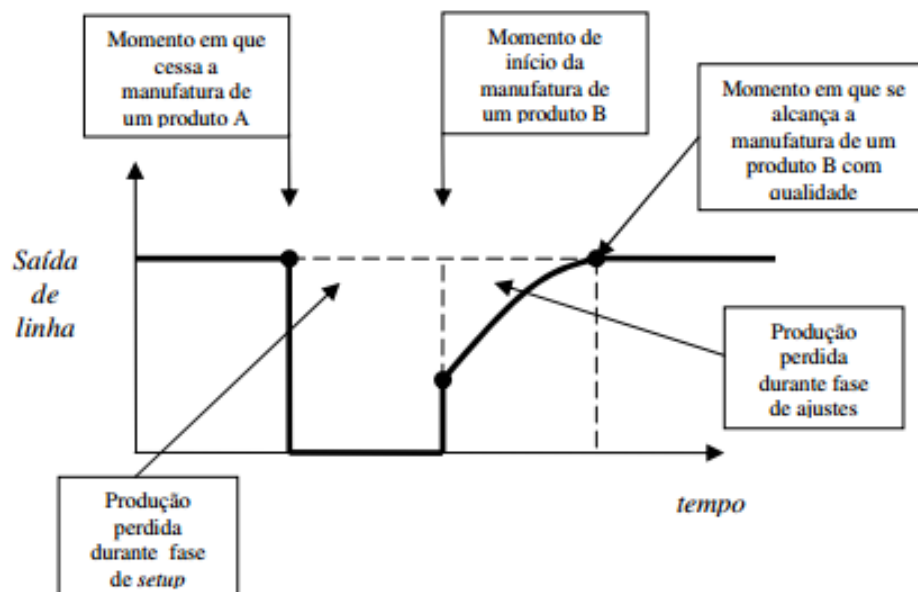


Figura 2.15 – Tempo de *Setup*

A motivação para a redução de quantidades e tempos de *setup* pode ser definido pela seguinte figura (Shingo, 1985).

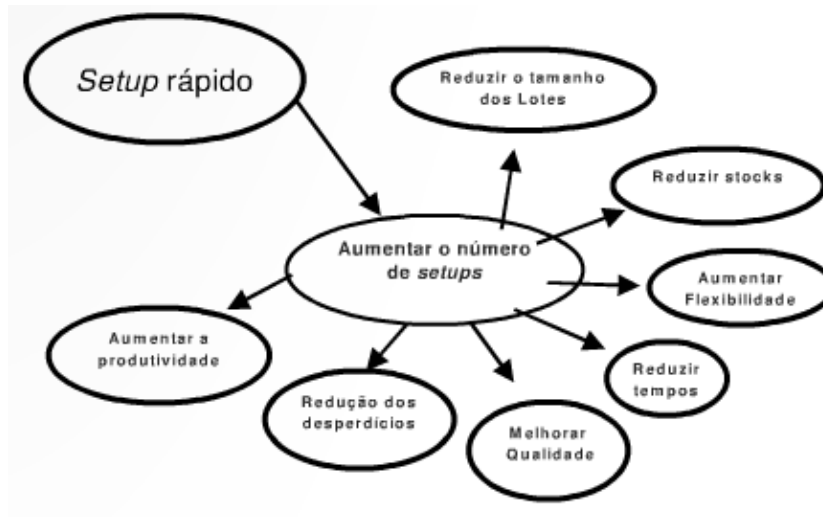


Figura 2.16 - Motivações para a redução do tempo de mudança de ferramenta

A metodologia SMED abrange inicialmente um âmbito estratégico de aplicação de conceitos com o intuito de implantar a ferramenta com as suas técnicas de apoio.

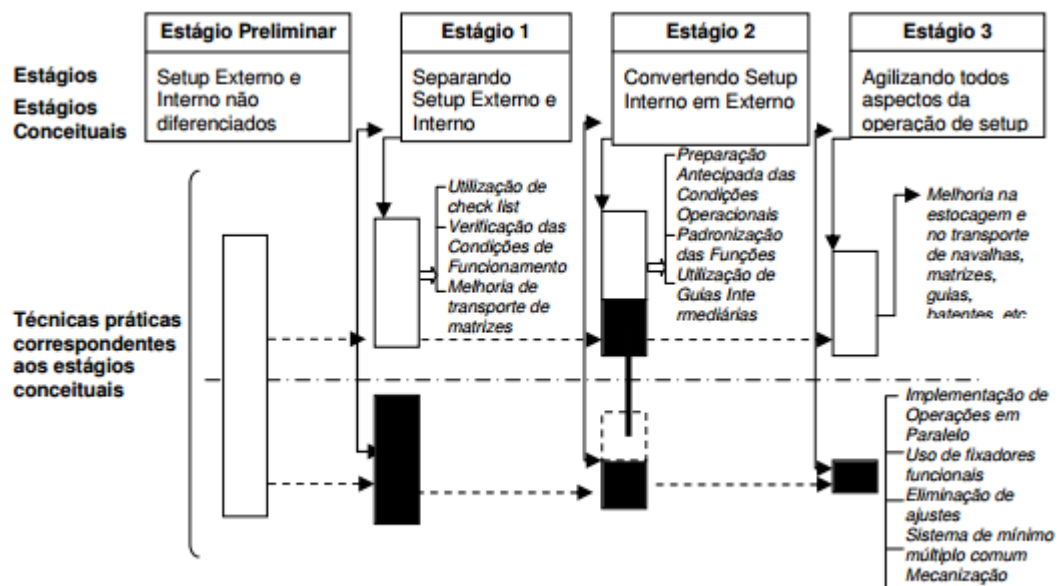


Figura 2.17 - Estágios de aplicação de conceitos

De uma forma mais simples a metodologia SMED baseia-se em 6 tarefas elementares para redução do tempo de *setup* (Raul Lopes, 2013) (Couto, 2008):

1. Identificar e separar as atividades de *setup* internas e externas envolvidas no processo de mudança e ajuste de ferramenta.
2. Converter as atividades de *setup* internas em externas sempre que possível, de modo a minimizar o tempo de mudança;
3. Eliminar a necessidade de ajustes através da uniformização de processos, ferramentas e procedimentos;
4. Melhorar as operações manuais através da formação e treino. Procurando envolver as pessoas, tirando partido das suas ideias e sugestões (*por exemplo*, incentivando e premiando a criatividade e a participação) é possível alcançar ganhos significativos sem avultados investimentos;
5. Melhorar (através de alterações ou reconfiguração) o equipamento;
6. Criar um gráfico de melhorias para acompanhar os resultados.

Ainda de acordo com Shingo a proporção temporal e passos utilizados antes da implementação do SMED são (Shingo, 1985):

Preparação, organizar materiais e ferramentas – 30%

Montar e remover lâminas, ferramentas e partes – 5%

Configurações, medições e calibração – 15%

Testes e ajustes – 50%

O que nos permite visualizar, de uma forma preliminar, que os testes, ajustes e a preparação ocupam grande parte do tempo.

## 2.4 Outras técnicas

(Adaptado de Esquivel, 2015)

No decorrer deste trabalho académico, 3 técnicas têm sido abordados com o pormenor merecido no âmbito da dissertação, uma vez que a combinação das mesmas representa as vantagens e congregações associadas aos mesmos. Mas existem outras técnicas ou instrumentos que lidam com a incerteza e a qualidade que vão ser brevemente descritas por uma opção crítica de outras ferramentas disponíveis.



**Figura 2.18 – Planeamento Avançado da Qualidade**

Algumas delas fazem uso da estatística nas suas mais diversas formas. Com efeito, a estatística dispõe de métodos para analisar as probabilidades, tendências, relações e variações, permitindo o cálculo de estimativas e projeções. Porém, a estatística tem as suas limitações e não é certamente útil quando é usada isoladamente. Deste modo, há metodologias qualitativas ou semi-quantitativas que desempenham um papel fundamental no planeamento e na prevenção. Todo o processo tinha como objetivo a identificação, o mais precoce possível, de potenciais falhas do projeto de um produ-

to, bem como a criação das bases para uma produção robusta. A figura 2.18 (página anterior) seguinte descreve fases do planeamento avançado da Qualidade.

Entre as várias ferramentas usadas, a LFM (*Logical Framework Matrix*), o QFD (*Quality Function Deployment*), o FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e o AFD (*Anticipatory Failure Determination*). As análises de capacidade de processo e o controlo estatístico de processo são ferramentas fortemente promovidas pela Qualidade e o seu uso é bem mais vulgar.

A *Logical Framework Matrix* (Rosenberg, 1979) é uma matriz de planeamento de estratégias e projetos, que inclui a identificação clara de uma estrutura de objetivos e atividades, os resultados a obter, os meios de verificação e seus os pressupostos. Desta forma, a ferramenta para além de exigir a identificação dos fatores internos, também o faz para os fatores externos, fornecendo informação para a elaboração de planos de emergência ou planos de contingência. Para além de ter uma utilidade prática evidente, a LFM é também uma ferramenta extremamente educativa porque nos propõe uma estrutura hierárquica de diferentes níveis de objetivos (Finalidades, Objetivos, Resultados, Atividades) e a relação *if ... then* (se ... então).

**Tabela 3.1 – Esquema do *Logical Framework Matrix***

<b><i>Logical Framework Matrix</i></b>			
<b>Descrição do Projeto</b>	<b>Indicadores Verificáveis</b>	<b>Meios de Verificação</b>	<b>Pressupostos</b>
Finalidades	Como é que o sucesso relativo às finalidades será medido (inclui a indicação de metas – quantidades, qualidade, tempo)?	Quais as fontes de informação dos indicadores (quem, com que frequência)?	-

Tabela 3.1 – Esquema do *Logical Framework Matrix* (continuação)

	Indicadores Verificáveis	Meios de Verificação	Pressupostos
Objetivos	Como é que o sucesso relativo aos objetivos será medido (inclui a indicação de metas – quantidades, qualidade, tempo)?	Quais as fontes de informação dos indicadores (quem, com que frequência)?	Quais os pressupostos da relação Objetivos/Finalidades?
Resultados	Como é que o sucesso relativo aos resultados será medido (inclui a indicação de metas – quantidades, qualidade, tempo)?	Quais as fontes de informação dos indicadores (quem, com que frequência)?	Quais os pressupostos da relação Resultados/Objetivos Finalidades?
Atividades	Como é que o sucesso relativo às atividades será medido (inclui a indicação de metas – quantidades, qualidade, tempo)?	Quais as fontes de informação dos indicadores (quem, com que frequência)?	Quais os pressupostos da relação Atividades/Objetivos?

Os pressupostos da LFM correspondem de facto a *riscos*, pelo que alguns autores preferem usar esta designação.

O QFD convencional de desenvolvimento de produtos (primeira matriz) começa por incluir uma análise da Voz do Cliente (inclui a identificação dos Requisitos do Cliente), o que em princípio reduz os riscos relativos à aceitação dos mercados. São identificadas as Características de Engenharia e determinadas as suas correlações entre si, algo que na verdade é essencial para a organização do projeto. Por exemplo, se a característica A está correlacionada negativamente com a característica B, então o projeto deve desenvolver em conjunto as soluções para as duas características.

O desempenho de cada Requisito do Cliente e de cada Característica de Engenharia é comparado com a concorrência, reduzindo-se o risco de desempenho técnico insuficiente. São ainda identificados as características críticas (o que normalmente inclui os requisitos regulamentares) a que o projeto deve obedecer. A este respeito, deve salientar-se que o cumprimento da legislação é frequentemente um risco muito relevante nos estudos internacionais de identificação de riscos, nomeadamente a propósito dos sectores bancário e farmacêutico. A figura apresentada de seguida demonstra a Matriz do Produto.

### Quality Function Deployment – Matriz do Produto

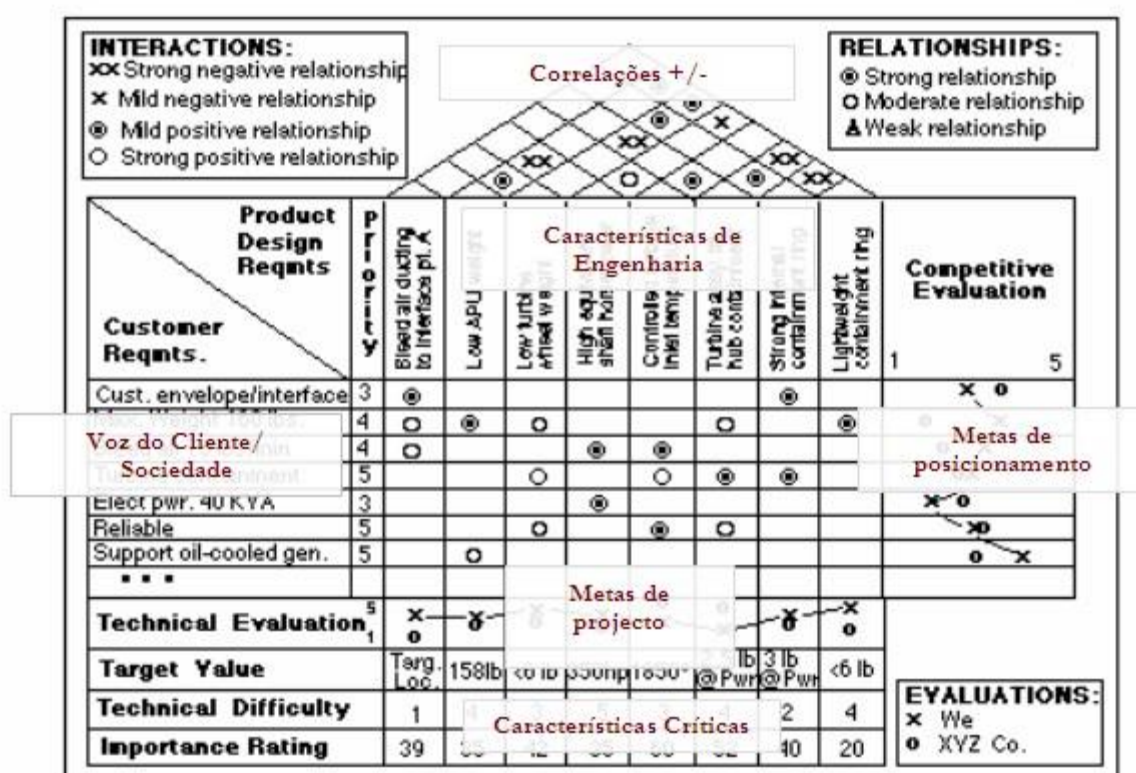
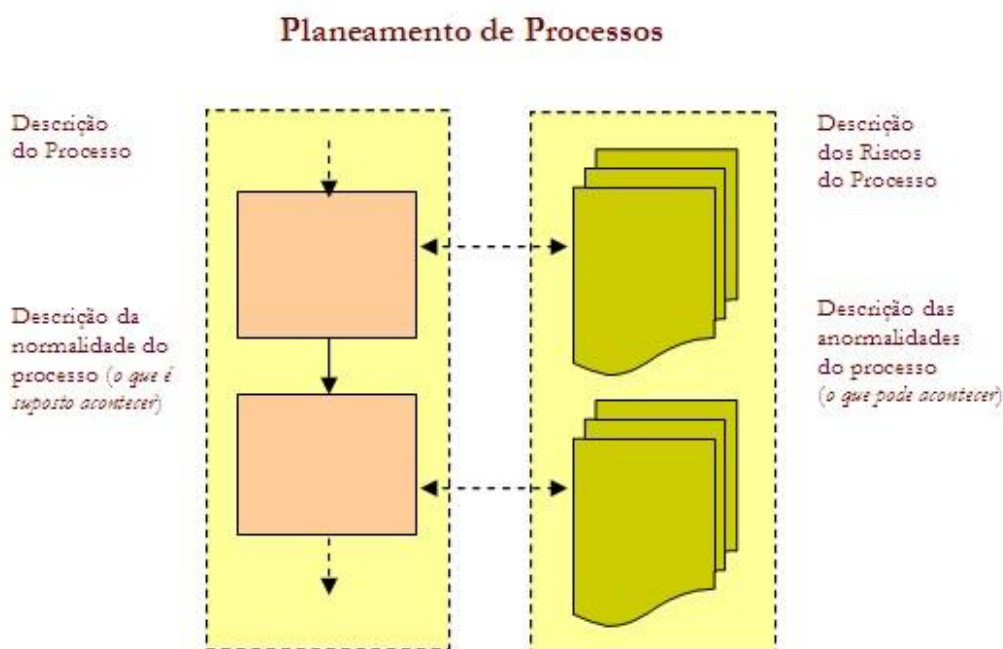


Figura 2.1 – Matriz do Produto

O FMEA é uma ferramenta usada na metodologia completa associada ao QFD e é incontornável em diversas áreas da gestão que integram Gestão do Risco, como é o caso da Qualidade, Segurança, Ambiente, Segurança da Informação. Em certos sectores, foram criadas variantes específicas da ferramenta, como é o caso das indústrias alimentar, farmacêutica, automóvel, ferroviária e aeronáutica. A origem do FMEA remonta aos anos 40, tendo sido criado pelas forças armadas americanas. Foi usado pelo programa Apollo, facto que lhe deu bastante notoriedade. No final dos anos 70, a Ford introduziu o uso interno do FMEA e também como requisito nas suas relações com os seus for-



necedores, tornando-se assim numa das ferramentas mais populares do Planeamento Avançado da Qualidade. O FMEA tem aspetos que merecem um especial destaque. Em primeiro lugar, o FMEA introduz uma estrutura e uma disciplina na forma de analisar os produtos, os processos, os serviços ou qualquer outra realidade que possa ser decomposta em partes. São frequentes os FMEA de Produto, os FMEA de Processo e os FMEA de Utilização, mas existem outras formas de os usar. Por exemplo, os FMEA de Segurança são normalmente desenvolvidos a partir dos postos de trabalho. É uma ferramenta de uso essencialmente preventivo, que pode reunir todo o conhecimento de uma organização relativamente às suas falhas, causas, efeitos, controlos, ações, prioridade. Deste modo, por detrás de cada fase de processo (ou de outra componente de uma estrutura), poderá estar sempre um FMEA que integra todo o conhecimento relativo ao desempenho dessa fase do processo). Interessa também realçar a interação bidirecional entre a Descrição de Processo (o que é suposto acontecer) e a Descrição dos Riscos do Processo (o que pode acontecer). A primeira fornece as bases para elaborar a segunda, mas simultaneamente recebe destas as alterações necessárias para aumentar a robustez do processo. A figura seguinte descreve o planeamento dos processos.



**Figura 2.20 – Planeamento de Processos**

A estrutura considerada (produto, processo, uso, etc.) é decomposta em pequenos elementos (componentes, fases, tarefas, etc.) que depois são explorados com o objetivo de identificar os Modos

de Falhas, os respetivos Efeitos e Causas. Cada causa é classificada em termos da probabilidade de Ocorrência, Gravidade dos Efeitos e eficácia da Detecção dos controlos estabelecidos. Para cada um destes parâmetros é atribuída uma pontuação, geralmente variando 1 e 10. Os parâmetros são multiplicados entre si e o resultado é um indicador de risco, que costuma ser designado por Número de Prioridade do Risco (RPN – *Risk Priority Number*). O RPN é então usado para priorizar as Ações, sendo frequentemente um critério de atuação mais interessante do que os indicadores clássicos da Qualidade (por exemplo, PPM e % de defeitos). A figura 2.21 exemplifica as cartas FMEA.

Carta FMEA

Stage	Process Function	Possible Failure Mode	Effects of Failure on System	Cause	O	S	D	R	Action to eliminate
Receiving	Initial check for identification, damage & paperwork. Segregate & locate items from untested	Inadvertent use of untested items	Loss traceability Possible use of defective materials	Causas Human error	2	10	5	100	Acções Separate incoming goods
Labelling	Identify product with part number	Operator error, documentation not clear, note identifying area small	Loss of traceability	Human Error	2	10	5	100	Automatic label generator printing correct details
Review Cert of Conformity	Confirm product tested and within spec.	Material has deteriorated.		Human Error					Product sent for analysis

Elementos da estrutura (neste caso, fases do processo)

Modos de Falhas e Efeitos

O – Ocorrência  
S – Gravidade  
D – Detecção  
R – Risk Priority Number

Figura 2.21 – Carta FMEA



## **Aplicações Conjuntas de várias metodologias**

Neste capítulo, as técnicas vão ser, primeiramente, combinadas entre si nomeadamente o Taguchi-SMED e Taguchi-TRIZ em exemplos e casos de estudo reais e testados anteriormente em artigos publicados com o objetivo de explicar as vantagens e benefícios da sua combinação, e para se introduzir o modelo proposto, serão apresentados dois casos práticos de utilização conjunta e acrescentada a metodologia em falta referente a esta dissertação.

Foi escolhida a indústria de injeção de moldes de plástico como base prática do trabalho e pela coerência de utilização entre exemplos e ambos casos de estudos, dois trabalhos académicos na mesma área serão descritos.

### **3.1 Utilização Conjunta das metodologias Taguchi - SMED**

É possível encontrar diversos artigos e dissertações académicas com a combinação destas duas técnicas. No caso em particular do SMED tem uma função essencialmente prévia de melhorias dos tempos, sejam eles finais ou de *setup*, e tem terá esse mesmo resultado global. A metodologia do Taguchi pela sua capacidade de redução do número de testes e conseguir apontar os parâmetros mais relevantes sem que seja necessário a replicação das diversas alternativas reduzir também significativamente o tempo total.

Quando combinadas é expectável que esse seja o resultado pretendido. Embora outros critérios possam ser também melhorados, como a robustez.

Foi usado como base, de caso de estudo, entre estas duas técnicas o artigo:

**“Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production”** dos autores M. Kemal Karasu, Mehmet Cakmakci, Merve B. Cakiroglu, Elif Ayva, Neslihan Demirel-Ortabas.

Os pormenores serão descritos no caso de estudo no subcapítulo 5.2. Os dados de *input* foram retirados o mesmo documento e replicados no programa Minitab v17 para a utilização do Taguchi, com o objetivo de melhorar a qualidade académica do documento será feita a reprodução da técnicas abordadas.

### **3.2 Utilização Conjunta das metodologias TRIZ - Taguchi**

À semelhança da combinação anterior, também não é difícil encontrar diversos exemplos da combinação destas técnicas. Uma vez que o TRIZ ajuda a resolver problemas genéricos, que podem ser usados em diversas situações, e apontar pistas e soluções para a resolução de problemas genéricos aplicados em situações específicas.

A procura coerente e uniforme deste trabalho académica levou-me a encontrar o artigo “*An innovative manufacturing process for bamboo injection molding by using TRIZ and Taguchi method*”, dos autores Mu-Tsai Chang e Chi-Hao Yeh, uma vez que era aplicado na mesma indústria de injeção de moldes, o que reflete coerência de toda a estrutura.

Neste caso, os resultados o Taguchi não foram reproduzidos neste documento uma vez que representada, no contexto deste trabalho, os pormenores suficientes da utilização conjunta e as suas vantagens. Veremos mais à frente que o Taguchi se revelou mais eficiente que o TRIZ na procura dos parâmetros e seus valores, apesar do TRIZ ter apontado pistas interessantes para a melhoria dos problemas encontrados pelo caminho, uma destes indícios inclusivamente utilizados autonomamente e combinados com o Taguchi para, por fim, se encontrarem os parâmetros certos.

No subcapítulo 5.3, que usa como base a utilização conjunta, outra técnica ainda do TRIZ vai ser acrescentada à utilizada, a Matriz de idealidade, em conjunto com a adição da metodologia SMED.





## Modelo TRIZ-TAGUCHI-SMED

Usando as potencialidades das 3 ferramentas conseguiremos alcançar melhores ou otimizar os resultados pretendidos. A escolha destas 3 ferramentas deveu-se às suas especificidades individuais, muitas vezes usadas par-a-par, e pelas potencialidades coletivas usadas em situações diferentes nos processos de otimização. O modelo completo encontra-se na página seguinte, figura 4.1.

O SMED é usado numa fase inicial de preparação e tem como principal objetivo a redução do tempo, alterando todas as atividades que podem ser realizadas em paralelo ou previamente, antes de parar o sistema, seja ele qual for.

Taguchi pela capacidade estatística de analisar as variáveis com maior relevância e importância no contexto de um determinado problema, permite, para além da redução do número de testes necessários para que sejam atingidos valores e parâmetros ideais e com maior relevância, permite ainda melhorar outra característica, que pode passar por inúmeras opções consoante o desejado e testados.

TRIZ, tendo sido criada analisando centenas de outros trabalhos académicos, pretende contribuir com pistas para soluções específicas partindo de genéricas anteriormente observadas.

O diagrama será construído de forma genérica, passando sequencialmente por estas ferramentas.

A combinação das 3 resultará numa melhoria global do sistema, que, individualmente, poderia não atingir uma tão boa solução, ou o seu trabalho individual ser mais prolongado.





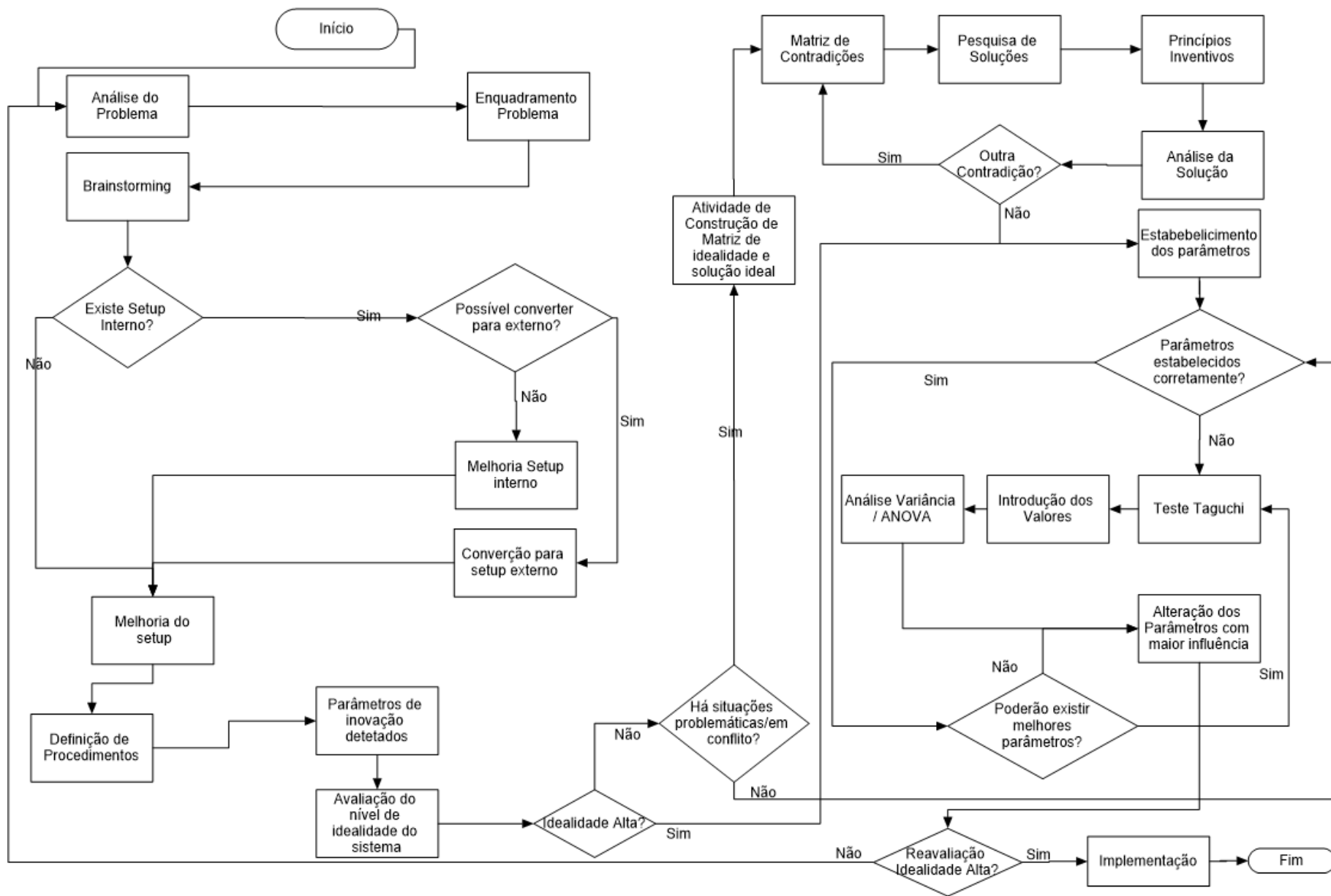


Figura 4.1- Esquema proposto



#### 4.1 Integração do SMED no Modelo

Como referido o SMED tem como objetivo principal, essencialmente neste projeto académico, a otimização dos tempos de *setup*, permitindo reduzir ao mínimo o tempo em que haja real necessidade de imobilizar uma máquina, passando todas as atividades internas, passíveis de ser realizadas previamente ou em paralelo, para externa. Caso esse cenário se verifique, a depois uma percepção clara entre todas os agentes envolvidos no projeto de melhorias, suportados por este fluxograma, após reuniões e análise dos problemas. A figura 4.2 representa a parte deste o início do esquema e a parte do SMED do mesmo.

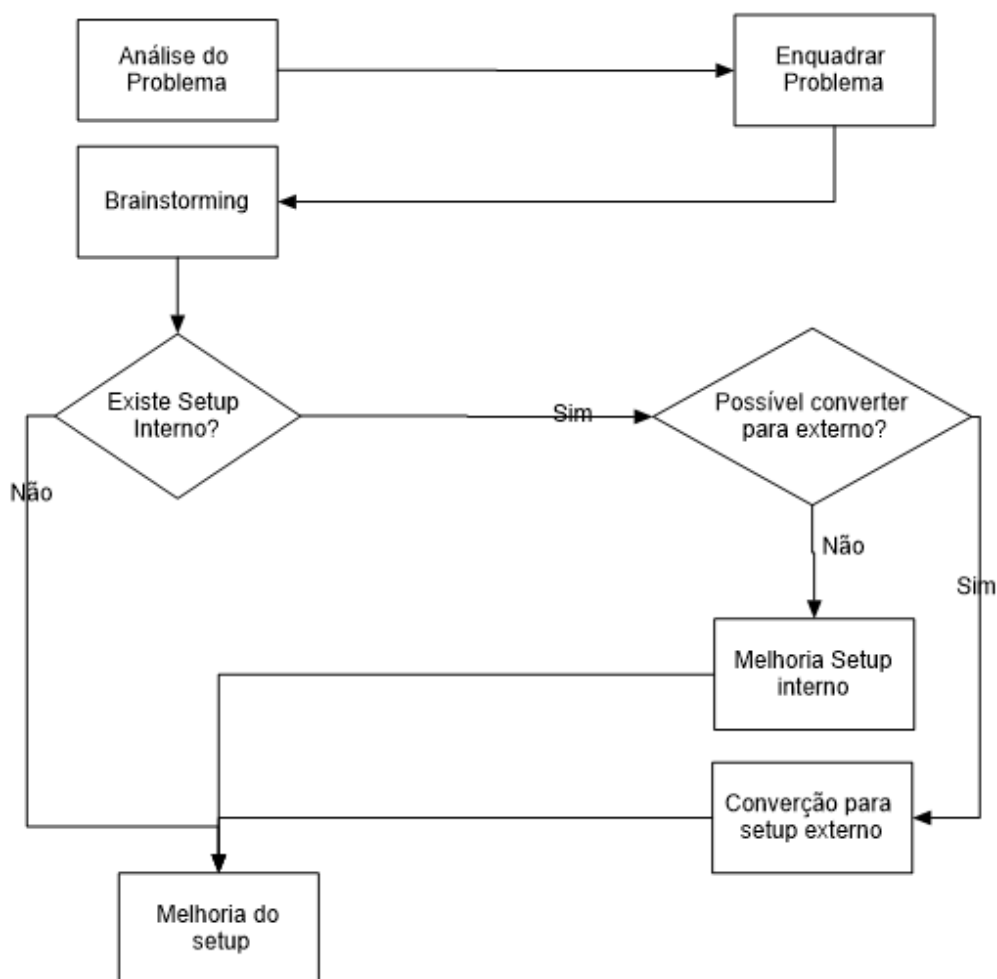


Figura 4.2 – Parte SMED do Esquema proposto.

Existem diversos documentos, como por exemplo o que será abordado no caso de estudo, em como esta técnica permite reduzir significativamente os tempos globais necessários para a realização da mesma tarefa. A reunião preliminar é particularmente importante, uma vez que, só depois de se conhecer bem os passos dos processos, se consegue catalogar corretamente as tarefas, externas ou internas, e, eventualmente, convertê-la, por este mesmo motivo, estes passos devem ser sempre acompanhados por pessoas que estão habituadas a estes processos no âmbito da empresa.

## ***4.2 Integração do TRIZ no Modelo***

O TRIZ é provavelmente das 3 metodologias propostas a mais ampla, uma vez que pode ser usada em diversos setores, mesmo não tecnológicos. A pesquisa exaustiva de centenas de artigos permitiu a deteção de padrões. Uma filosofia baseada na expressão: “Não se vai reinventar a roda”. Isto, naturalmente, permite também poupar tempo, primeiramente porque a pesquisa já está feita, e pelo menos, esse passo já foi ultrapassado, e ainda permite apresentar sugestões ou pistas pertinentes para quais os passos possam ser. E, se surgirem contradições nas medidas propostas, o sistema apresenta igualmente algumas inspirações de resolução. A forma genérica como o TRIZ foi desenhado não permite uma aplicação por tentativa e erro do método, desta forma o pensamento humano é necessário para que, individualmente, as sugestões possam ser analisadas e passadas do geral para o particular, se possível.

Como veremos também o caso de estudo, por vezes, esta metodologia também contribui para a escolha dos parâmetros mais relevantes para serem analisados. Combinado com outras técnicas torna-se uma congregação poderosa. A Matriz de idealidade permite, neste caso, visualizar os conflitos que possam haver entre os diferentes parâmetros de engenharia e quais os seus impactos após as melhorias aplicadas.

O primeiro passo será verificar a idealidade do sistema e perceber-se se existem aspetos que possam ser melhorados. Após a aplicação de certas medidas corretivas, caso surjam aspetos contraditórios ou outro parâmetro piorado com esta alteração é analisada a Matriz de Contradições do TRIZ para analisar o princípio inventivo que possa contribuir para a harmonização de ambas as partes. É esta a parte que o pensamento humano independente deve ser posto em prática.

Esta parte do diagrama, caso esteja atingido um nível de idealidade significativo pode ser ultrapassada para a metodologia seguinte.

O TRIZ pode contribuir também para o estabelecimento de parâmetros, mas caso não seja suficientemente preciso ou eficaz a técnica seguinte terá um papel importante na sua percepção. Neste caso a metodologia Taguchi. Mas, a figura 4.3 representa apenas a parte o TRIZ do esquema global.

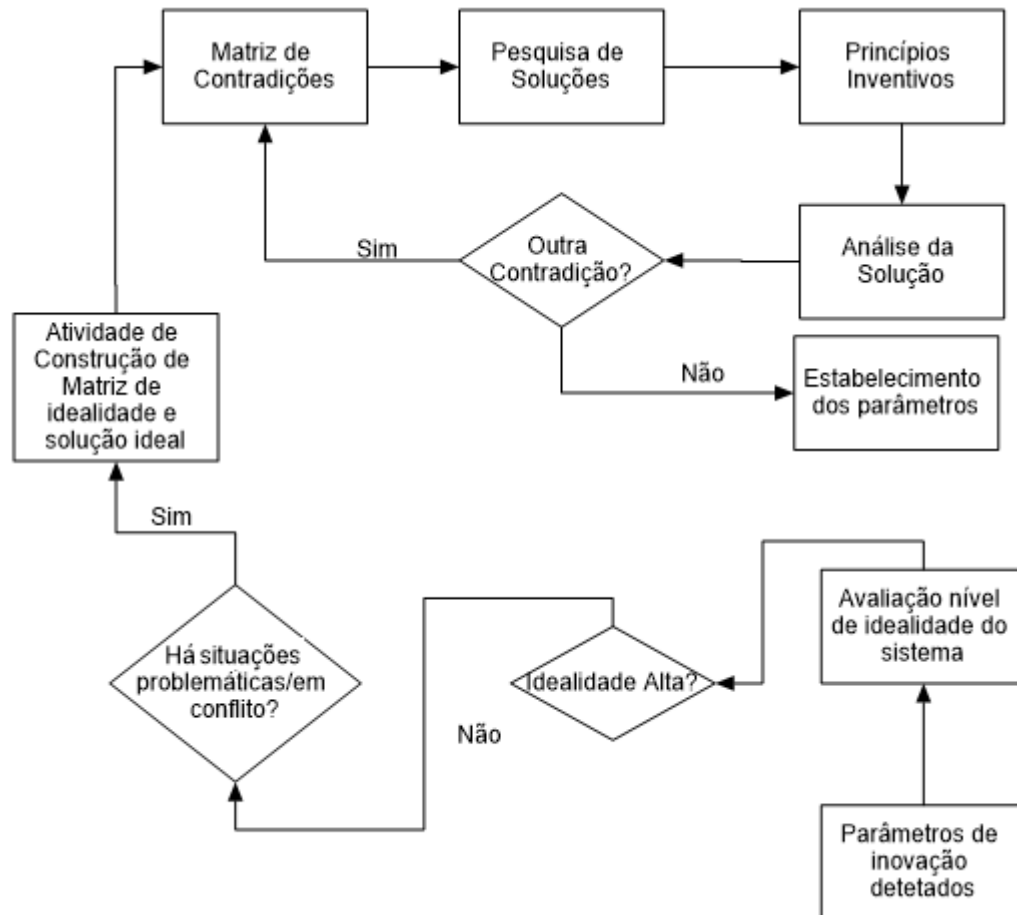


Figura 4.3 Parte TRIZ do Esquema proposto

### 4.3 Integração do metodologia Taguchi no Modelo

Sequencialmente no modelo apresentado, a metodologia do Taguchi é a última a ser utilizada. Caso ainda não estejam estabelecidos os parâmetros mais relevantes ou se os mesmos podem se

identificados de forma mais precisa, o Taguchi é utilizado. Uma técnica que permite perceber a melhor combinação entre parâmetros e respectivos valores sem que seja necessário a realização de todas as combinações entre as diversas opções. A qualidade ou característica pretendida será melhorada e o tempo de execução global melhorado. A figura seguinte (4.4) demonstra a parte da metodologia do Taguchi no esquema proposto.

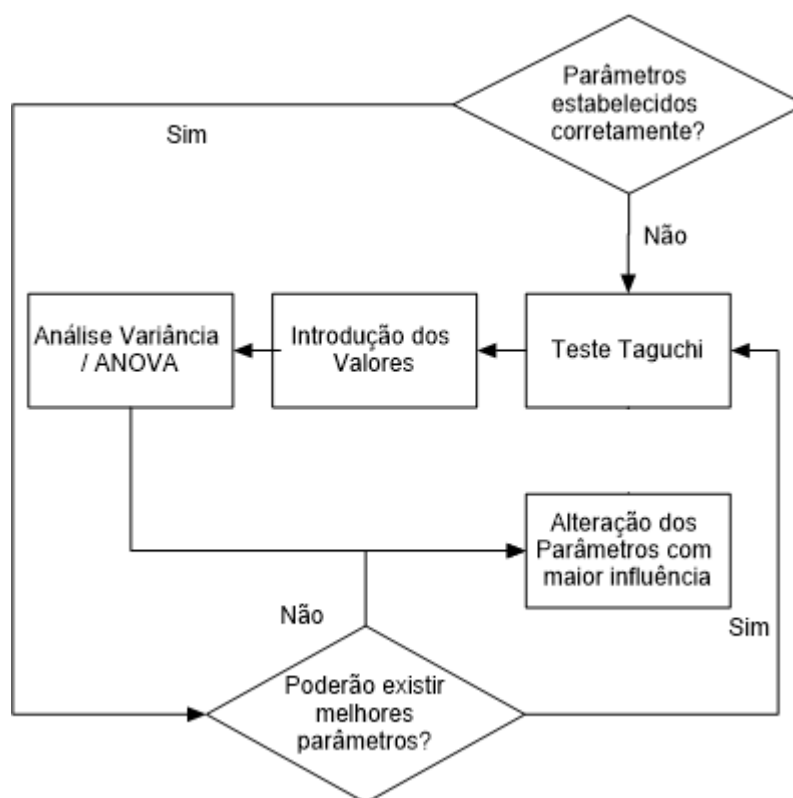


Figura 4.4 Parte Taguchi do Esquema proposto



## Casos de estudo

As técnicas usadas foram realizadas em fábricas de injeção de moldes de plásticos, com dados exemplificativos de outros estudos, e usados como modelo elucidativo para uma percepção clara da aplicação das técnicas. Como tal, será feita uma breve introdução histórica desta indústria e das técnicas de injeção.

Será igualmente desenvolvido o conceito de injeção de plásticos, as suas máquinas e a moldação das peças.

A indústria de injeção de moldes de plástico, como base prática do trabalho, e pela coerência de utilização entre exemplos e ambos casos de estudos, dois trabalhos académicos na mesma área serão descritos:

- *Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production” (M. Kemal Karasu, 2013)*

- *“An innovative manufacturing process for bamboo injection molding by using TRIZ and Taguchi method” (Mu-Tsai Chang, 2012).*

Para além do estudo deste dois documentos, foi feita uma análise aprofundada das técnicas individuais no capítulo de estado de arte e metodologias propostas.

Com o objetivo de perceber melhor a indústria de injeção de moldes e quais os parâmetros a ter conta, foram feitas duas visitas à fábrica Eugster / Frismag AG, localizada em Torres Vedras. Uma

Empresa que é a maior empregador privado do concelho que se concentra no fabrico de máquinas automáticas de café para consumidor doméstico, sistemas de passagem ferro a vapor e componentes para as outras fábricas. Esta fábrica conta com 45 máquinas de injeção.

Durante um dia inteiro, com a oportunidade de falar com diversos engenheiros e técnicos da qualidade, foi obtida uma melhor percepção da importância de regulação dos parâmetros, papel de cada um, e tempos globais.

De referir por fim que este capítulo irá entrar com algum detalhe nos documentos referidos, para a combinação de duas metodologias, e submeter os valores reais apresentados ao modelo proposto, adicionando a metodologia não utilizada, desta forma, 2 casos de estudo de aplicação prática para o modelo apresentado são apresentados no decorrer desta dissertação.



## ***5.1 Introdução ao processo de injeção de plásticos em moldes***

Todas as técnicas usadas, no decorrer deste capítulo, foram feitas sobre uma fábrica de injeção de moldes de plásticos, com dados exemplificativos de outros estudos, e usados como modelo elucidativo para uma percepção clara da aplicação das técnicas. Como tal, será feita uma breve introdução histórica da indústria e das técnicas de injeção.

Será desenvolvido o conceito de injeção de plásticos, as suas máquinas e a moldação das peças.

### **5.1.1 Plásticos**

Em química e tecnologia, os plásticos são materiais orgânicos polimórficos sintéticos, de constituição macromolecular, dotada de grande maleabilidade, facilmente transformável mediante o emprego de calor e pressão, e que serve de matéria-prima para a fabricação dos mais variados objetos: vasos, sacola, toalhas, embalagens, cortinas, carroceiras, roupas, sapatos.

Segundo o American Chemistry Council's, a matéria-prima dos plásticos geralmente é o petróleo. Este é formado por uma complexa mistura de compostos. Pelo facto de estes compostos possuírem diferentes temperaturas de ebulição, é possível separá-los através de um processo conhecido como destilação ou craqueamento.

São divididos em dois grupos, de acordo com as suas características de fusão ou derretimento: termoplásticos e termo rígidos.

Um dos métodos mais comuns de processamento de plásticos é a injeção em moldes. O plástico é cada vez mais usado hoje em dia cada casa, cada automóvel, cada escritório e cada fábrica contém uma quantidade enorme de diferentes tipos de artigos produzidos por injeção em moldes para plásticos. As máquinas de injeção de plásticos em moldes originais foram baseadas na técnica de fundição por injeção de metais.

### 5.1.2 História

A primeira máquina foi patenteada nos Estados Unidos da América em 1872, pelo irmão Hyatt (Crawford, 1998) especificamente para o uso com celuloide. Em 1878, John Hyatt usou o primeiro molde de múltiplas cavidades. Em 1909, Leo H. Baekeland introduziu as resinas de fenol-formaldeído, as quais são agora moldáveis por injeção em injetoras com rosca (Taylor, 2009).

Esta era uma invenção importante, mas provavelmente precoce uma vez que nos anos seguintes poucos desenvolvimentos foram relatados nesta área. Em meados da década de 20, a Alemanha mostra interesse nesta área, apresentando as suas primeiras máquinas de injeção. Estas máquinas eram muito simples, onde o controlo dimensional era de facto um grande obstáculo. A grande característica destas máquinas era que o seu acionamento era manual, onde existia uma alavanca acionada manualmente que fazia o fecho das placas.

Nesta altura as pressões de injeção não eram muito elevadas. Neste mesmo século devido ao aumento das pressões competitivas apareceu o acionamento pneumático do molde, que na altura significava um enorme passo pois deixava cada vez mais de depender da força bruta (Taylor, 2009).

O grande sucesso desta tecnologia deve-se ao efeito combinado de uma série de vantagens comparativas, entre as quais se salientam: a elevada produção, a grande reprodutibilidade e precisão dimensional, a grande flexibilidade em termos de geometria e dimensões das moldagens (a gama de produção vai desde a micromoldagens, inferiores a 1mg, até peças com mais de 100 kg).

Podem ser moldados por injeção termoplásticos, termofixos e elastômeros vulcanizados (borrachas e silicones). A moldagem por injeção também pode ser utilizada para a fabricação de peças cerâmicas ou metálicas, a partir de compostos que utilizam um material polimérico como vetor.

Uma grande evolução nas máquinas de injeção apenas aconteceu no final dos anos 30 quando se implementou sistemas hidráulicos de acionamento. Começou por ficar disponível para algumas quantidades de matéria-prima. Embora no final dos anos 30 já existissem máquinas acionadas hidráulicamente, as máquinas continuavam a basear-se na teoria da fundição de metais, e apenas nos anos 50 foram criadas uma nova gama de máquinas criadas pensando em todas as particularidades dos plásticos.

As máquinas atuais têm o mesmo projeto básico embora naturalmente os sistemas de controlo sejam muito mais sofisticados nos dias de hoje.

Em Portugal, a Indústria de Moldes para matérias plásticas teve o seu início em 1943, na Marinha Grande, numa pequena empresa de moldes para vidro, por iniciativa de Aníbal H. Abrantes, mas sem a concordância do sócio e irmão Aires Roque, que por isso vendeu a sua posição na empresa, continuando a sua atividade na indústria vidreira. Dois anos mais tarde, Abrantes produziu o primeiro molde de injeção para plástico.

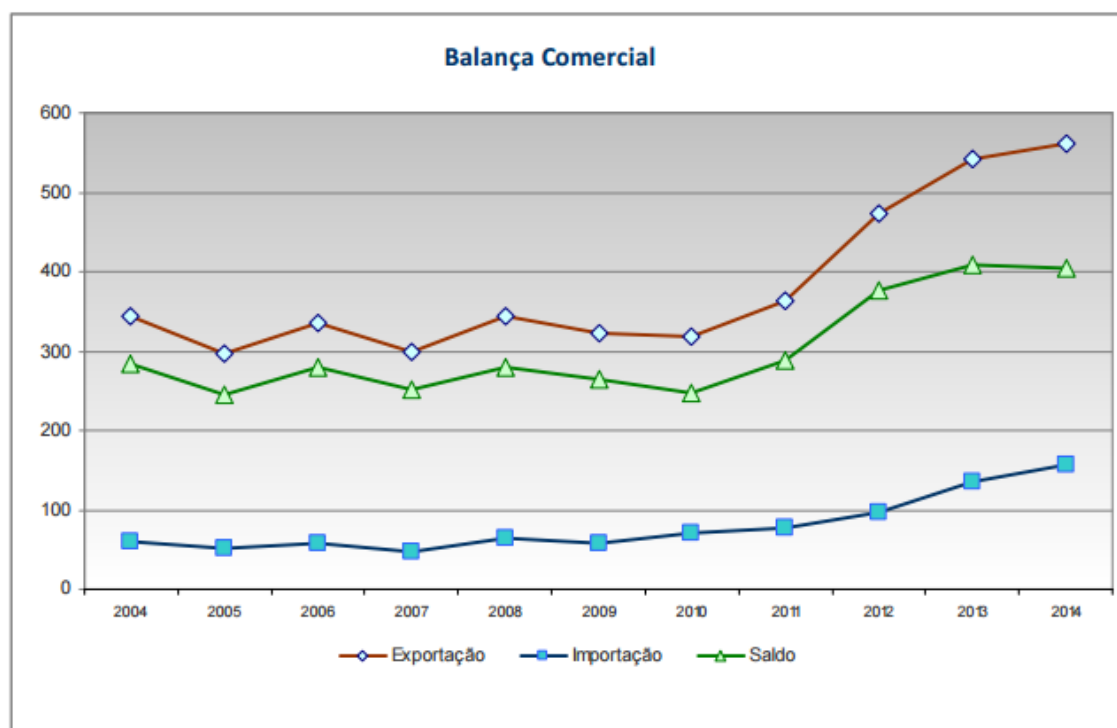
Neste seguimento, começaram a estabelecer-se outras empresas produtoras de moldes para plásticos, em Oliveira de Azeméis, como centro tradicional da indústria de vidro. A indústria desenvolveu-se com a importação de tecnologia estrangeira e, em 1955, iniciou-se a exportação com a venda dos primeiros moldes à Grã-Bretanha. Em 1980, a indústria já exportava para mais de 50 países e só na área da Marinha Grande existiam 54 empresas em laboração, empregando cerca de 2000 pessoas.

Atualmente, o sector de moldes em Portugal possui cerca de 250 empresas com a dimensão típica de PME's (Pequenas e Médias Empresas), situadas na sua maioria na Marinha Grande e em Oliveira de Azeméis, empregando cerca de 7500 pessoas (Cefamol, 2015). As empresas portuguesas de moldes encontram-se na vanguarda da utilização de máquinas-ferramentas de precisão inovadoras, controladas informaticamente, sendo vulgar a utilização de sistemas CAD/CAM/CAE na conceção e fabrico de moldes. Conceitos como Engenharia Simultânea ou Concorrente e Qualidade Total, por exemplo, são conceitos que se começam a generalizar em algumas empresas do sector (Cefamol, 2015).

Portugal ocupa um lugar cimeiro, a nível mundial, no âmbito da Indústria de Moldes para plásticos. Cada vez mais, grandes multinacionais (indústria automóvel, embalagem, eletrónica/telecomunicações, eletrodomésticos, etc.) selecionam empresas nacionais para o fabrico dos seus moldes, destinados a alguns dos melhores produtos de grandes marcas internacionais.

A sua escolha baseia-se na perícia e experiência dos fabricantes de moldes portugueses, ao nível das normas de qualidade, assistência técnica, prazos de entrega, preços praticados e capacidade tecnológica (Cefamol, 2015).

A figura seguinte representa a balança comercial, referente ao setor do plástico, entre os anos 2004 – 2005. Fonte: AICEP, 2015.



**Figura 5.1 – Balança comercial entre 2004 – 2015**

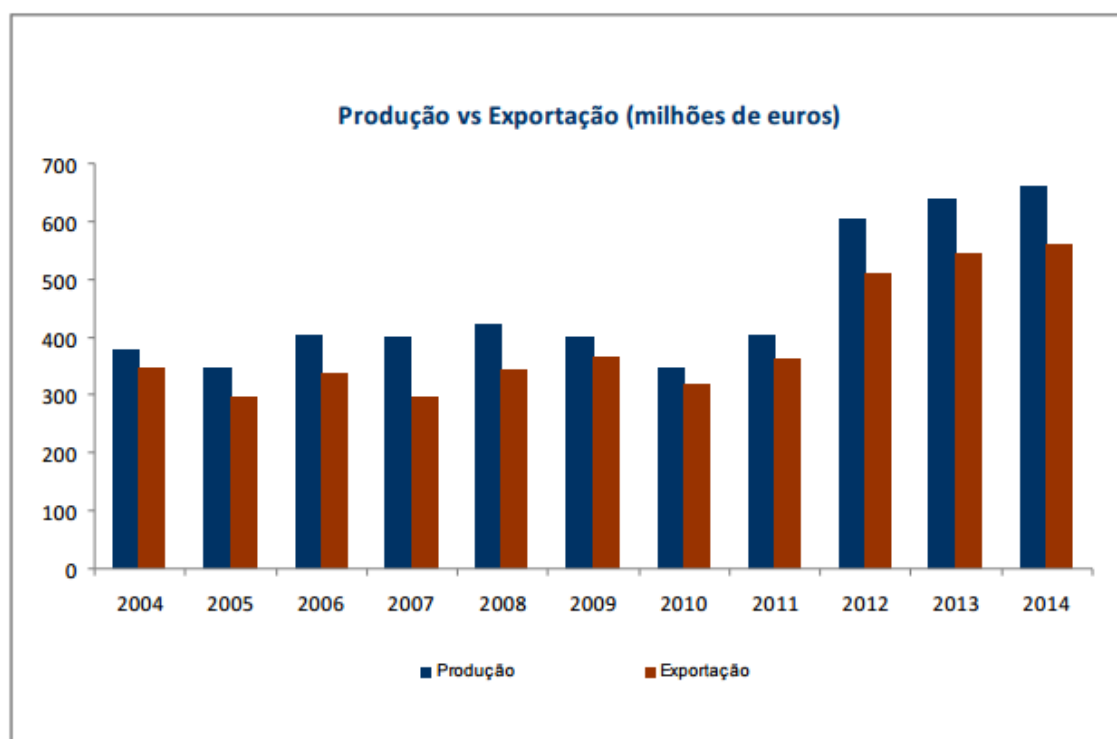
**(Adaptado de Cefamol, 2015) Unidade: milhões de Euros.**

A análise da evolução da balança comercial ao longo dos últimos anos demonstra a forte vocação exportadora do Sector.

O saldo da balança comercial registou uma tendência de crescimento nos anos considerados, tendo passado de 284,41 milhões de euros em 2004 para 405,15 milhões de euros em 2014 (Cefamol, 2015).

Da evolução dos mercados utilizadores de moldes fabricados em Portugal é possível verificar o largo número de sectores que utiliza moldes para o fabrico de componentes em séries cada vez mais alargado, assim como a dinâmica elevada dos mercados que exige uma capacidade permanente de

encarar novos desafios. A figura seguinte refere-se à balança comercial referente no setor dos plásticos.



**Figura 5.2 – Produção vs Exportação.**

**Unidade em Milhões de Euros. (Cefamol, 2015)**

A análise do gráfico anterior sublinha a forte orientação exportadora do Sector (a exportação nunca é inferior a 75% da produção), tendo o valor mais baixo sido registado nos anos associados à crise conjuntural registada nos últimos anos. Por outro lado, esta situação, que se verifica com maior intensidade desde 2004, também deriva do crescimento assinalável que a Indústria nacional, nomeadamente de plásticos, tem tido ao longo dos últimos anos, muitas vezes impulsionada pelo alargamento da cadeia de valor das empresas de moldes.

O valor total das exportações portuguesas atingiu, em 2014, os 561 milhões de euros, sendo que as vendas foram efetuadas para 89 mercados (países) distintos, o que demonstra a dimensão internacional e global desta Indústria. As duas imagens que se seguem representam os principais mercados e clientes em 2014 no setor em estudo.

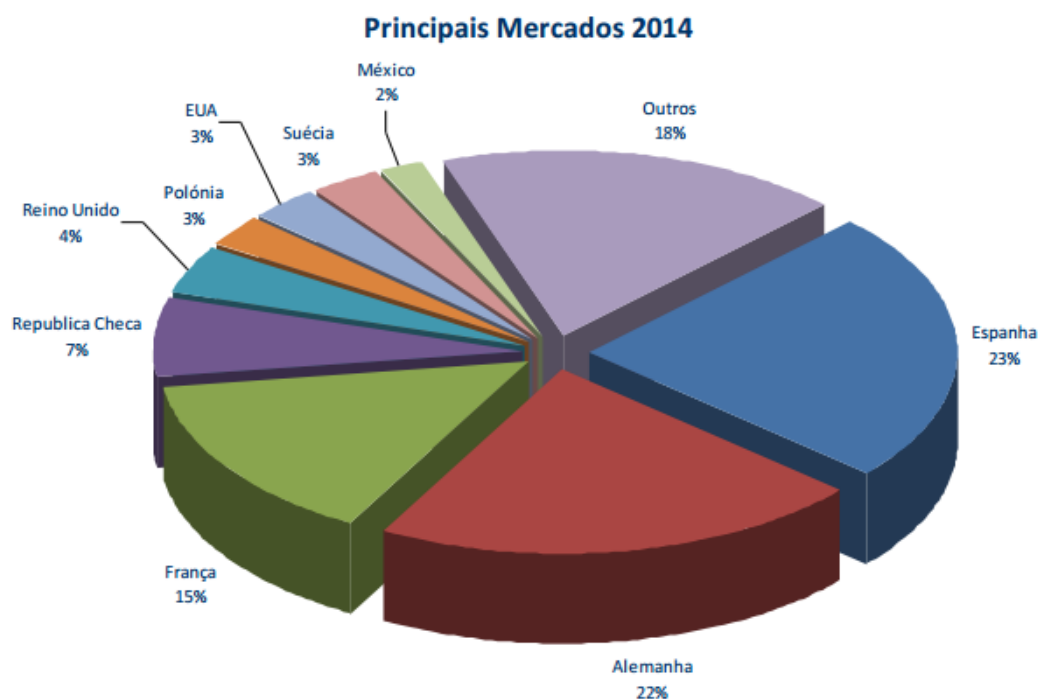


Figura 5.3 – Principais mercados em 2014

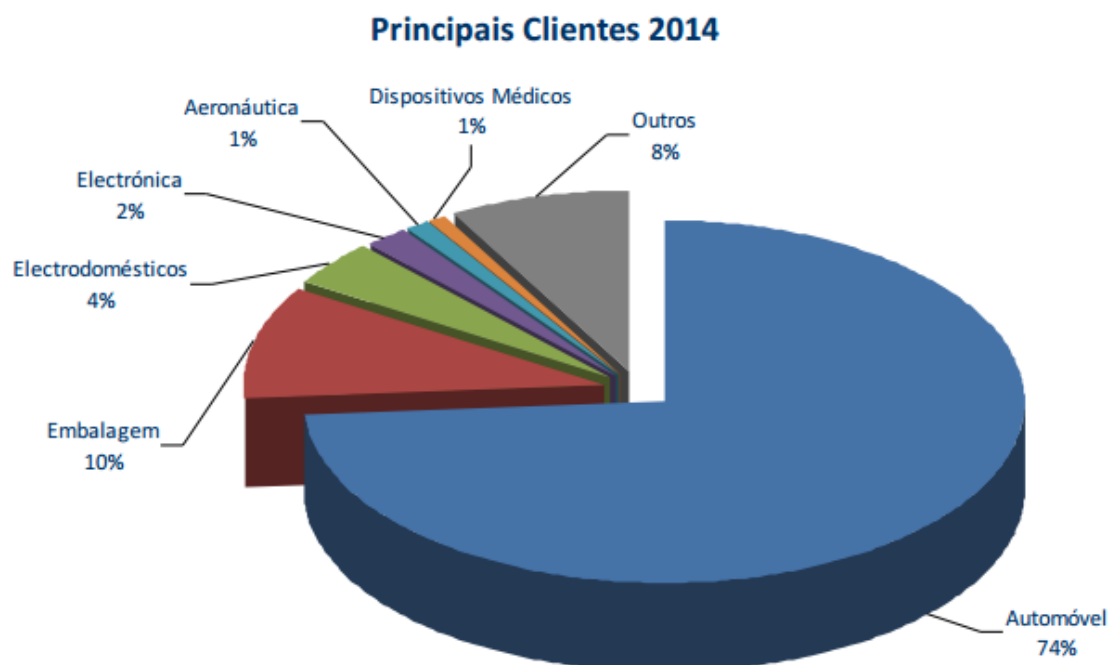


Figura 5.4 - Principais clientes em 2014

Através das Estatísticas da Produção Industrial do Instituto Nacional de Estatística do ano 2011 (Ano de edição 2012). É possível consultar relatórios até ao ano de 2014, mas menos detalhado no ponto de matérias plásticas. Por este motivo foi usado o relatório do ano 2011. Apesar de haver algumas informações sobre o mesmo tempo mais atuais, para manter a coerência entre gráficos e dados apresentados, foi feita esta opção relativa aos dados retirados. A referência ao documento integral está na bibliografia, sendo todos referentes ao mesmo ano, juntamente com a figura seguinte, sobre o material produzido por matérias plásticas em 2011.

Fabricação de artigos de borracha e de matérias plásticas							
2011		Unid. Ativ. Econ. nº	Valor das Vendas				Portugal
CAE Rev.3	Designação		Total	Mercado Nacional	União Europeia	Países Terceiros	Serviços Prestados
22		448	2 999 327 640	1 149 936 642	1 637 932 962	211 458 036	23 339 653
22110	Fabricação de pneus e câmaras-de-ar; reconstrução de pneus	22	811 911 315	61 240 550	659 576 924	91 093 841	2 230 218
22190	Fabricação de outros produtos de borracha	45	196 315 122	102 313 562	87 218 960	6 782 600	1 644 367
22210	Fabricação de chapas, folhas, tubos e perfis de plástico	64	787 275 550	299 607 780	426 191 081	61 476 689	8 312 809
22220	Fabricação de embalagens de plástico	95	405 397 230	280 852 228	114 496 676	10 048 326	416 586
22230	Fabricação de artigos de plástico para a construção	73	110 918 656	60 330 639	39 409 017	11 179 000	1 818 305
22290	Fabricação de outros artigos de plástico	149	687 509 767	345 591 883	311 040 304	30 877 580	8 917 368

Figura 5.5 – Fabricação de artigos de borracha e matérias plásticas - 2011

(Fonte: INE, 2011)

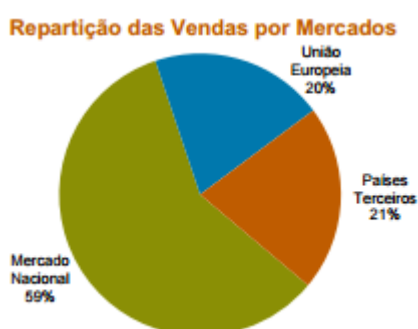


Figura 5.6 – Repartição das Vendas por mercado - 2011

(Fonte: INE, 2011)

O futuro desta indústria está assegurado através do seu desenvolvimento tecnológico, do correto planeamento da produção e controlo de qualidade, da modernização constante dos equipamentos em utilização e do investimento na formação profissional.

### 5.1.3 Molde para a injeção de plásticos

Existem diversas formas de moldar o plástico: se os ângulos do produto a que será transformado forem positivos, o processo se dará através de máquinas injetoras plásticas. Em caso de ângulos negativos, como garrafas, são utilizadas máquinas de termoformagem por sopro de ar quente. Caso o produto seja de simples elaboração, como um pote de manteiga, e o material a ser utilizado não peça altas temperaturas ou aplicações de engenharia, um processo de estampa é empregue.

Para todos os casos e processos são necessários os moldes. Para confeccioná-lo são necessários dados precisos do produto final, para que os profissionais Engenheiro Mecânico e o ferramenteiro tenham de providenciar desenho e condições de funcionalidade, lembrando que a injeção do plástico liquefeito através do "canhão de injeção" da máquina a temperaturas elevadas e força de fechamento medida em toneladas. Poderá ser manufaturado em aço (para a produção de grandes quantidades de produtos), ou em alumínio (para pequenas quantidades ou fabricação limitada).

Para os produtos de uso diário e que não peçam precisão de injeção, como o caso de utensílios domésticos em geral, moldes simples são elaborados. Para os chamados Plásticos de Engenharia que são utilizados nos veículos, produtos eletrônicos ou telefones, o molde recebe precisão e complexidade operacional, além de exigir um excelente equipamento para a injeção plástica.

O espaço da cavidade é gerado por uma fêmea, designada por cavidade, e por um macho, designado por bucha. A figura seguinte será um exemplo de uma máquina de injeção da CENFIMFE.



Figura 5.7 – Exemplo de uma máquina de injeção



Um molde deverá produzir peças de qualidade, num tempo de ciclo o mais curto possível, possuir o mínimo de manutenção durante o tempo de serviço, definir os volumes com a forma das peças a produzir, assegurando a reprodutibilidade dimensional, de ciclo para ciclo, permitir o enchimento desses volumes com o polímero fundido, facilitar o arrefecimento do polímero e promover a extração das peças.

A estrutura de um molde é constituída pelo conjunto de placas e calços, cujo número depende do tipo de molde. A estrutura típica de um molde de duas placas, que é o tipo de molde mais simples, é constituída por uma parte fixa ou lado da injeção e por uma parte móvel ou lado da extração. A parte fixa é constituída pelas placas de aperto da injeção e placa das cavidades, a parte móvel é constituída pela, placa da bucha, placa de reforço da bucha, calços e placa de aperto da extração. As diversas partes são ilustradas na figura 5.8.

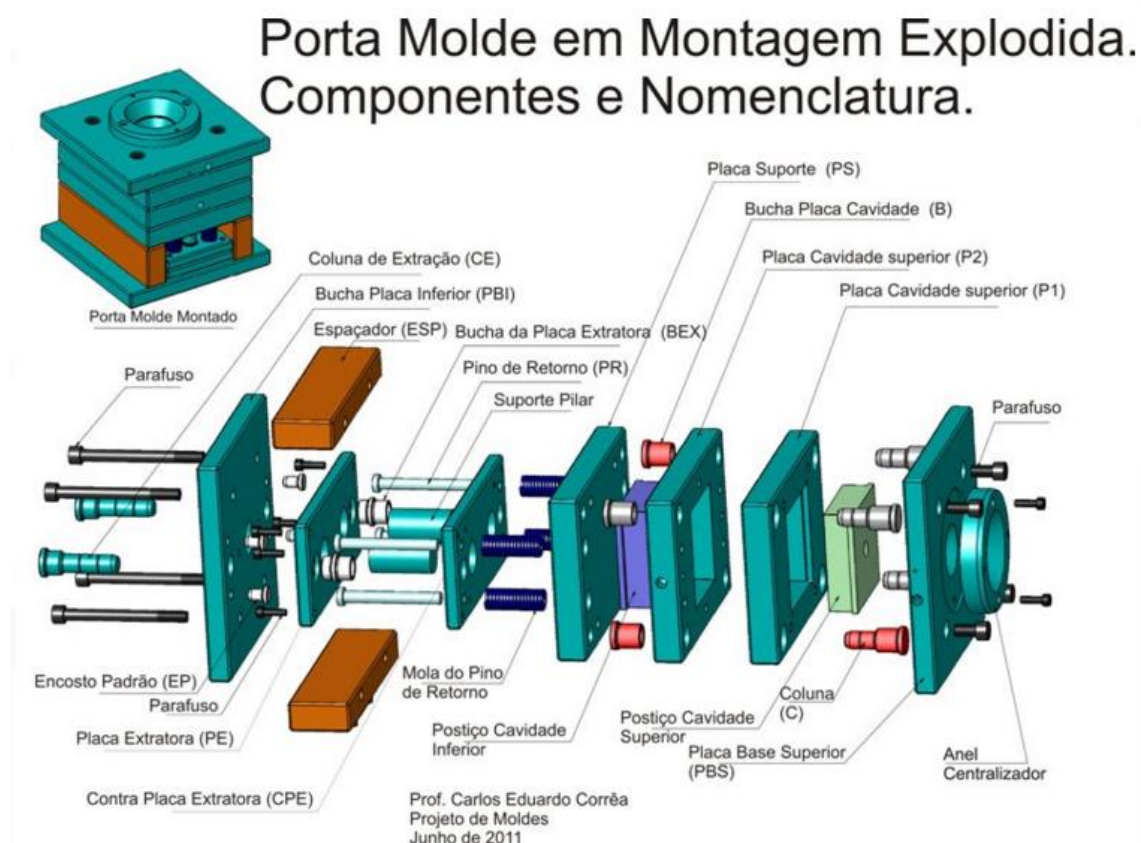


Figura 5.8- Porta Molde em Montagem Explodida.

Fonte da figura (FATEC, 2011)



**Figura 5.9 - Exemplos de um molde para utensílios domésticos da marca HYSION.**

A figura 5.9, através de um utensílio bastante comum mostra como, em conjunto, diversas colheres de plástico são feitas. Na placa das cavidades é maquinada a cavidade, parte fêmea do molde, que define a forma exterior da peça. Na placa das buchas é maquinada a bucha, parte macho do molde, que define a forma interior da peça. Os calços permitem definir o espaço necessário aos movimentos do sistema de extração e podem contribuir para a altura mínima do molde, exigível pela máquina onde vai ser instalado o molde. Para dar rigidez ao conjunto, as placas têm que ser aparafusadas e encavilhadas entre si, de forma a criar tantas partes quantas as necessárias ao tipo de molde em questão.

Os parafusos não deixam que as placas se separem, mas devido às folgas existentes nas roscas e aos furos de passagem não impedem que possa haver um pequeno movimento relativo entre elas. As cavilhas, que entram justas nos furos, impedem esses movimentos mas não a separação das placas.

#### **5.1.4 Sistemas de injeção e tipo de injetoras**

(Adaptado de Barrionuevo, 2003)

Os sistemas que compõem uma máquina de moldagem por injeção são: o sistema de injeção propriamente dito e o de fecho do molde.

A unidade de injeção abrange a alimentação da injetora e o cilindro de injeção que comprime a resina para dentro do molde. O grande desenvolvimento concentrou-se no sistema. Devido à baixa condutância ao calor dos plásticos, as injetoras foram necessitando de outros acessórios para garantir uma plastificação satisfatória.

Existem dois os tipos de injetoras: o de pistão e o rosca recíproca, mas podem ser classificadas pelas seguintes categorias:

**A.** O tipo de pistão simples – usa um pistão para forçar o material contra um difusor ou torpedo. O calor é suprido por resistências elétricas. A resina é aquecida por condução e convecção.

**B.** O tipo de pistão de dois estágios – usa um pistão de um estágio para plastificar a resina e força-la a um segundo cilindro. O segundo cilindro injeta o material na cavidade do molde.

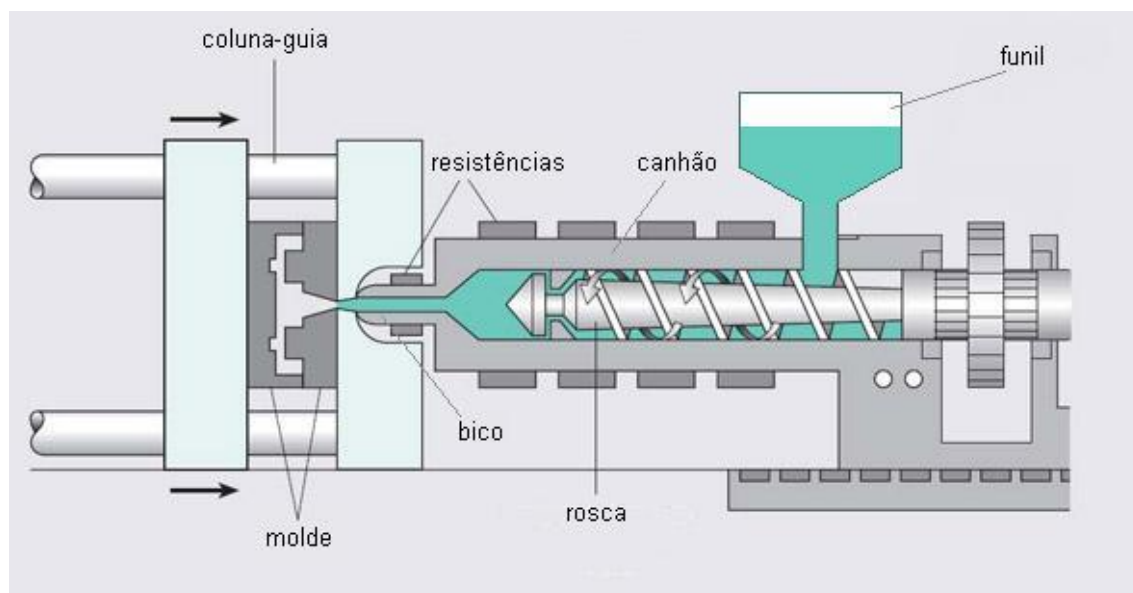
**C.** O tipo de dois estágios pistão e rosca – é essencialmente similar à injetora de pistão de dois estágios exceto que uma rosca fixa é usada para plastificar ao invés do pistão.

**D.** O tipo de rosca recíproca – usa uma rosca recíproca para plastificar o material. Quando a rosca gira, o material plastificado é forçado para frente, empurrando a rosca para trás. O material injetado trazendo a rosca para frente e esta passa, então, a atuar como um pistão.

As injetoras com rosca recíproca são similares as extrusivas. As altas pressões impostas pela rosca melhoram a homogeneização e plastificação.

#### **5.1.6 Processo de injeção**

A moldação por injeção pode ser definida como o processo a partir do qual um material plástico, originalmente no estado sólido (e usualmente sob a forma de grãos), é carregado numa máquina onde, sequencialmente, é aquecido a fim de amolecer e é forçado, sob pressão, a entrar para um molde (Roda, 2011). As partes e componentes de uma máquina injetora são descritas na figura 5.10.

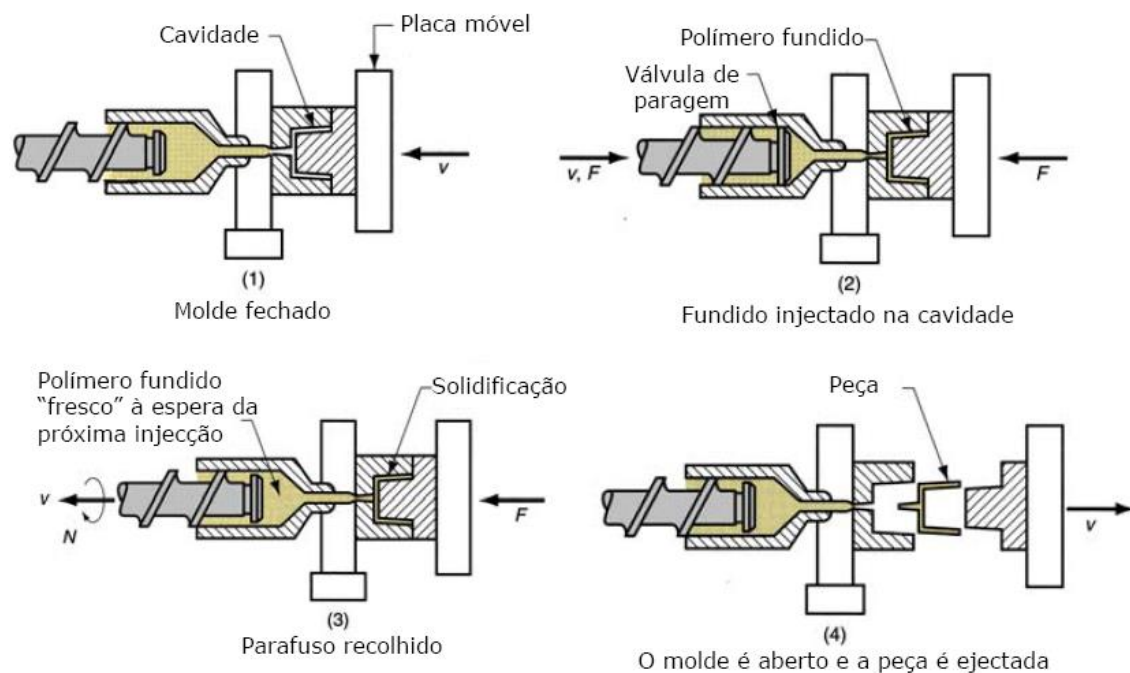


**Figura 5.10 – Componentes de uma máquina injetora**

**Fonte da figura (Roda, 2011).**

Quanto ao processo nas etapas de enchimento das cavidades do molde o ponto de entrada é uma pequena abertura um orifício através da qual o fundido entra na cavidade e nesse ponto de entrada é, geralmente, mais fino que as restantes partes do molde, e conseqüentemente, é a primeira a solidificar, não podendo ser injetado mais material após se verificar a solidificação (Roda, 2011).

A estrutura do molde é um meio de extração de calor, no qual o fundido solidifica na forma desejada e com os detalhes definidos pela cavidade e pela bucha. Essa estrutura da parte da cavidade define a forma exterior da peça, enquanto a parte da bucha define o seu interior. A estrutura da placa da cavidade é geralmente montada no lado da placa estacionária, que se encontra ligada ao bico de injeção. Desta forma, as etapas são detalhadas no conjunto de figuras listadas como 5.11.



**Figura 5.11 - Etapas do processo de injeção**

(Becker, 2015)

Descrição das imagens:

1 – O fuso empurra, sem rodar o material fundido, para o molde arrefecido. O ar é expelido por um sistema de fuga de gases.

2 – Quando as cavidades estão cheias é necessária a segunda pressão para compensar as contrações do material.

3 – Com os canais solidificados o fuso começa a rodar no sentido oposto, uma vez que o material há se encontra solidificado.

4- O molde abre através de extratores para a peça sair e o processo iniciar-se novamente.

Enquanto as figuras 5.12 e 5.13 irão detalhar a extração de uma peça num molde.

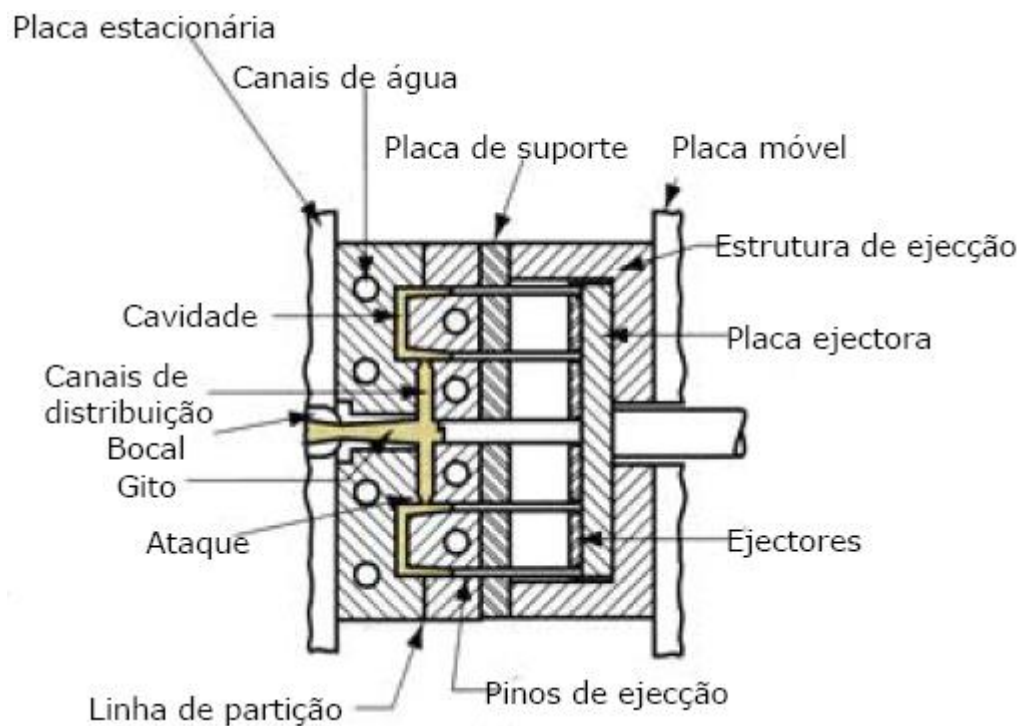


Figura 5.12 – Descrição do molde fechado

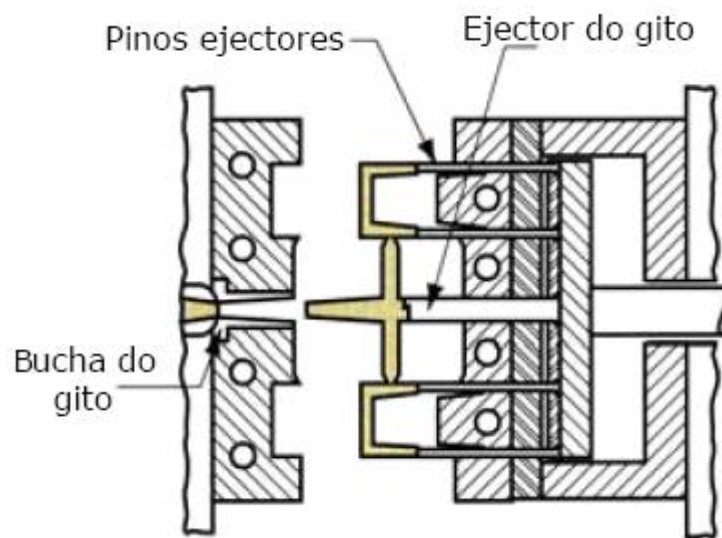


Figura 5.13 – Descrição do molde aberto e extração da peça

***Variáveis dentro dos parâmetros operatórios:***

(Adaptado de Peças, et al., 2003)

**Pressão de injeção:** Pressão necessária para encher completamente todas as cavidades do molde.

**2ª Pressão:** É a pressão que começa a atuar quando a peça já se encontra completa. Tem por função manter o material compactado até que os canais solidifiquem, evitando assim contrações do material.

**Contrapressão:** Pressão que se opõe ao retorno do fuso durante a dosagem do material. Tem por função consolidar a massa fundida, expulsando o ar.

**Descompressão:** Após a plastificação, para evitar acumulações de material no bico, recua-se um pouco o fuso provocando a sucção da massa fundida.

**Pressão de fecho:** É a pressão que mantém o molde fechado, e tem que ser superior à pressão exercida pelo material, evitando assim que o molde se abra.

**Velocidade de injeção:** Pode ser traduzida como a quantidade de material fundido, pelo tempo que este enche a cavidade, ou seja, quanto maior a velocidade menor o tempo de enchimento da cavidade.

**Velocidade de rotação do fuso:** É a velocidade responsável pela homogeneização do material, ou seja, quanto maior for, menor será o tempo de dosagem do material.

**Temperatura do molde:** Fator muito importante para controlo do tempo de ciclo e acabamentos da peça. Uma temperatura do molde baixa significa menor tempo de ciclo pois o arrefecimento é mais rápido, o contrário também se verifica.

**Temperatura do cilindro:** Mantém o material na temperatura suficiente (mangas de aquecimento) para que este se mantenha fundido até que se de início de produção de nova peça

**Temperatura do bico:** É a temperatura a que se encontra no bico de injeção. Tem que se garantir a temperatura correta para que o material flua sem dificuldades.

**Dosagem:** É a quantidade de material necessário para a injeção completa da peça. A dosagem ocorre durante o processo de arrefecimento

**Almofada:** Quantidade de material que fica no cilindro por injetar, evitando assim o choque entre o cilindro e o fuso .



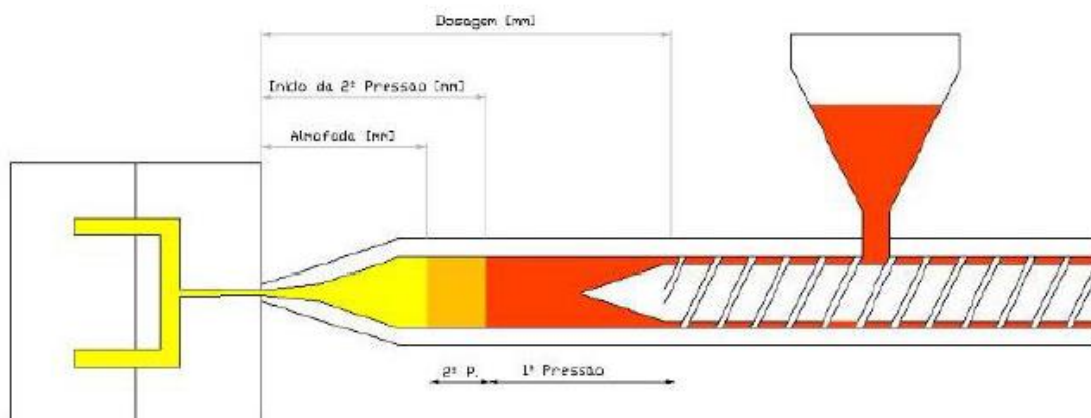


Figura 5.14 – Visualização da dosagem, almofada e início da 2ª Pressão.

**Tempo de ciclo seco:** Tempo total que a máquina leva a abrir e fechar o molde. É a soma do tempo de abertura com o tempo de fecho

**Tempo de abertura:** É o tempo que o molde leva a abrir. Deve ser bastante rápido, e a extração da peça deve ser realizada nesta fase sempre que possível.

**Tempo de fecho:** Também deve ser bastante rápido, com o cuidado de no final dar tempo ao sistema de proteção do molde atuar.

**Tempo de molde fechado:** É o tempo que o molde permanece fechado, ou seja, é a soma dos seguintes tempos:

**Tempo de injeção:** É o tempo que o material demora a preencher por completo as cavidades do molde;

**Tempo de 2ª, 3ª e 4ª pressão:** É o tempo em que é exercida uma pressão inferior à pressão de injeção, de modo a contrariar a contração do material. As pressões e dosagens estão descritas na figura 5.14.

**Tempo de arrefecimento:** É o tempo que vai desde a pressão de injeção cessar até que o molde abra.

**Tempo de dosagem:** É o tempo para que o fuso recue e deforme plasticamente o material para ser injetado.

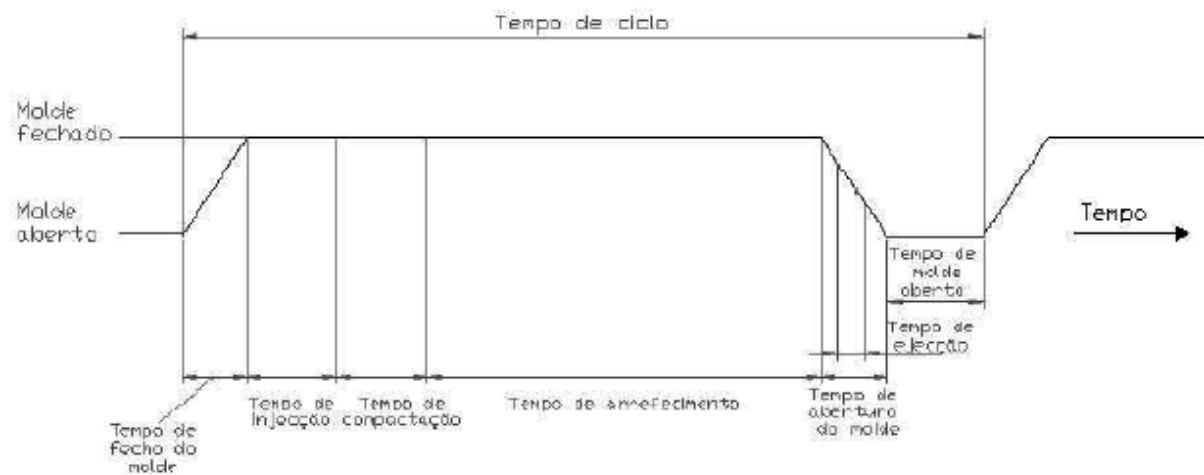
**Tempo de extração:** É o tempo necessário para retirar a peça do molde. Este tempo pode estar incluído no tempo de abertura do molde, diminuindo ou eliminando o tempo do molde aberto.

**Tempo de ciclo total:** Este é o tempo representativo da produção de uma peça, e é a soma dos seguintes tempos: tempo de fecho, tempo de injeção, tempo de 2ª, 3ª e 4ª pressão, tempo de arrefe-



cimento, tempo de abertura do molde e tempo de molde aberto. Caso a extração da peça não esteja incluída no tempo de abertura do molde, é preciso somar também este tempo.

Para concluir este subcapítulo, a figura 5.15 descreve, de uma forma gráfica, os tempos de ciclos dos principais conceitos abordados.



**Figura 5.15 – Tempos de ciclos completos de uma injetora**

Figura adaptada de (Peças, et al., 2003)

## **5.2 Caso de estudo 1: Método Taguchi - SMED**

O artigo “*Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production*” (M. Kemal Karasu, 2013) propõe usar, de forma inteligente, a junção das metodologias do desenho de experiências do Taguchi e SMED, na indústria do injeção de moldes. O objetivo deste estudo foi reduzir o tempo do processo e menos recursos aplicados.

Será descrita de forma resumida as técnicas aplicadas e resultados, que também serão usados nesta dissertação, como caso de estudo permitindo o uso de valores reais.

Na primeira etapa, o SMED, proposto por Shingo, separa as atividades internas de *setup* das externas. Todas as atividades que não necessitavam de ser realizadas sem que houvesse a necessidade de parar a máquina nesta fase, podiam ser realizadas em paralelo ou previamente. Estas atividades paralelas são por exemplo o transporte de novos moldes, aquando da necessidade da sua troca.

De acordo com Shingo a proporção temporal e passos utilizados antes da implementação do SMED são (Shingo, 1985):

Preparação, organizar materiais e ferramentas – 30%

Montar e remover lâminas, ferramentas e partes – 5%

Configurações, medições e calibração – 15%

Testes e ajustes – 50%

Depois da consciência dos passos necessários e tempos utilizados, são convertidas as atividades internas em externas, como a preparação prévia, reduzindo o período necessário de imobilização da máquina, uma vez que estaria tudo pronto para a troca do molde no momento de imobilizar a máquina.

### 5.2.1 Análise da aplicação existente

Na etapa de preparação, os aspetos de configuração melhoram se mais do que um operador estiver a trabalhar neste processo, se forem usadas ferramentas de montagem rápida, como brocas pneumáticas, ou gruas na retirada do molde anterior.

Sendo a parte dos testes e ajustes a parte que ocupa metade do tempo, Shingo propõe a combinação de produção múltipla de ferramentas que permite a troca no molde através da sua rotação. Mas devido à complexidade de alguns moldes de injeção, esta técnica nem sempre pode ser aplicada. Sendo a maior parte do tempo considerado uma atividade interna, o que não significa que possa ser analisado, caso a caso, com o objetivo de melhorar os tempos. Será nesta fase que entrará a metodologia Taguchi.

Como medida de controlo de qualidade para o teste neste artigo (M. Kemal Karasu, 2013), foi feito a medição, em cm, da capacidade que este tinha em se deformar. O produto final, a ser fabricado pela diferente combinação de moldes, é um LCD, como está visualmente mostrada na figura seguinte.

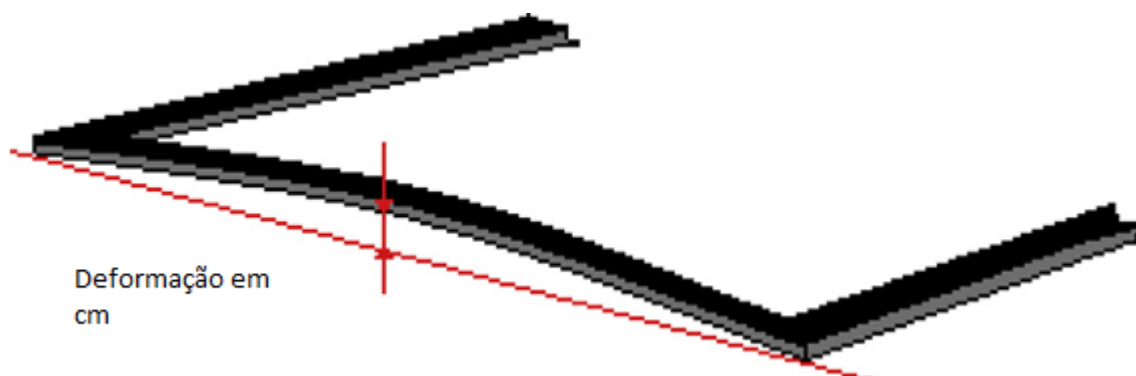


Figura 5.16 – Deformação a ser medida

E os parâmetros escolhidos e considerados foram: A temperatura de injeção, Pressão de condicionamento, o tempo de arrefecimento e a pressão de injeção.

Para a realização dos testes, foram usados os seguintes níveis com os parâmetros já referidos.

**Tabela 4.1 – Fatores com níveis**

<b>Fatores</b>	<b>Nível 1</b>	<b>Nível 2</b>	<b>Nível 3</b>
A temperatura de injeção (°C)	<b>230</b>	<b>245</b>	<b>260</b>
Pressão de acondicionamento (bar)	<b>70</b>	<b>85</b>	<b>100</b>
Tempo de arrefecimento (s)	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>
Pressão de injeção (bar)	<b>80</b>	<b>85</b>	<b>90</b>

Foi usada uma tabela L9 mostra, após a combinação dos níveis com os parâmetros, os resultados obtidos com os 9 testes necessários. A unidade dos resultados é a deformação dos painéis de plástico em cm.

**Tabela 5.2 - Tabela L9 com os parâmetros e níveis**

<b>Experiência</b>	<b>Tempelnje(°C)</b>	<b>PressAcond(bar)</b>	<b>TempoArre(s)</b>	<b>PressInje(bar)</b>	<b>Resultado</b>
1	<b>230</b>	<b>70</b>	<b>25</b>	<b>80</b>	<b>1231</b>
2	<b>245</b>	<b>85</b>	<b>25</b>	<b>85</b>	<b>1166</b>
3	<b>260</b>	<b>100</b>	<b>25</b>	<b>90</b>	<b>1235</b>
4	<b>260</b>	<b>70</b>	<b>30</b>	<b>85</b>	<b>1313</b>
5	<b>230</b>	<b>85</b>	<b>30</b>	<b>90</b>	<b>1225</b>
6	<b>245</b>	<b>100</b>	<b>30</b>	<b>80</b>	<b>1390</b>
7	<b>245</b>	<b>70</b>	<b>35</b>	<b>90</b>	<b>1746</b>
8	<b>260</b>	<b>85</b>	<b>35</b>	<b>80</b>	<b>1639</b>
9	<b>230</b>	<b>100</b>	<b>35</b>	<b>85</b>	<b>1315</b>

Foram usados os mesmos valores de *input* e introduzidos no programa Minitab V17 (reproduzidas das figuras 5.17 a 5.22 neste subcapítulo) com o objetivo de se usar a ferramenta do Taguchi. Foi usado o nível de significância 5%, menor-melhor. Hipótese nula: Todas as médias são iguais, Hipótese alternativa: Pelo menos um valor médio é diferente.

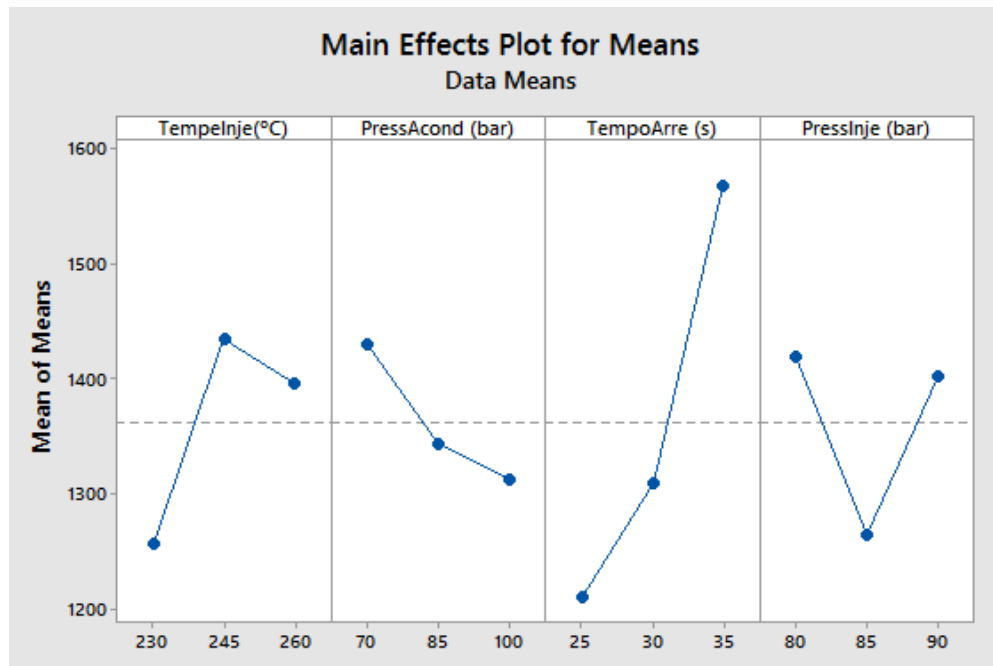


Figura 5.17 – Valores atingidos com os parâmetros

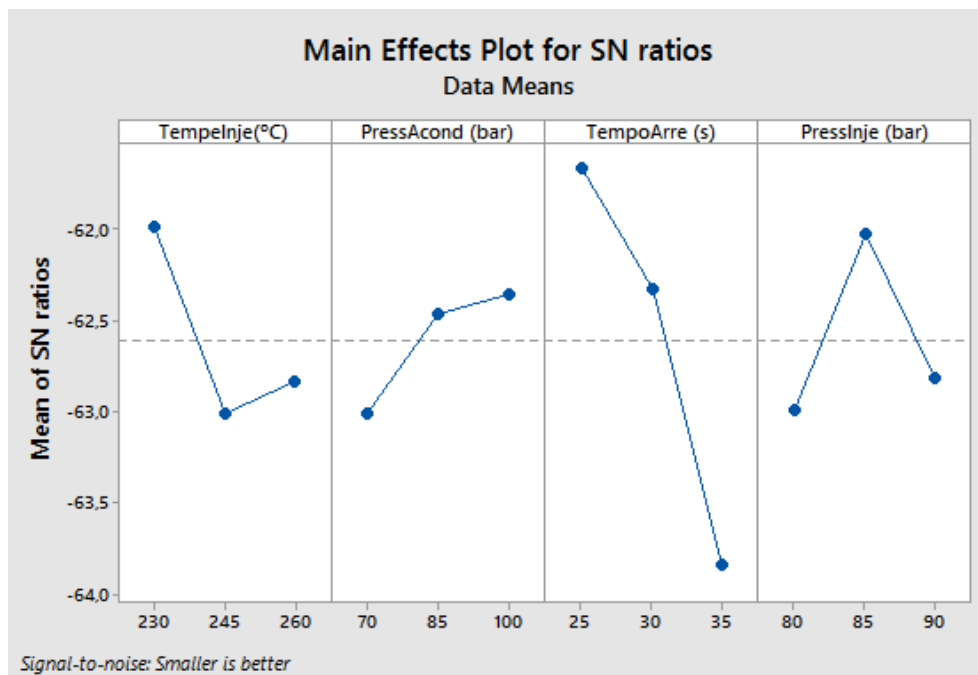


Figura 5.18 – SN rácio para os parâmetros

Analizando as variáveis individualmente.

### TempeInje(°C)

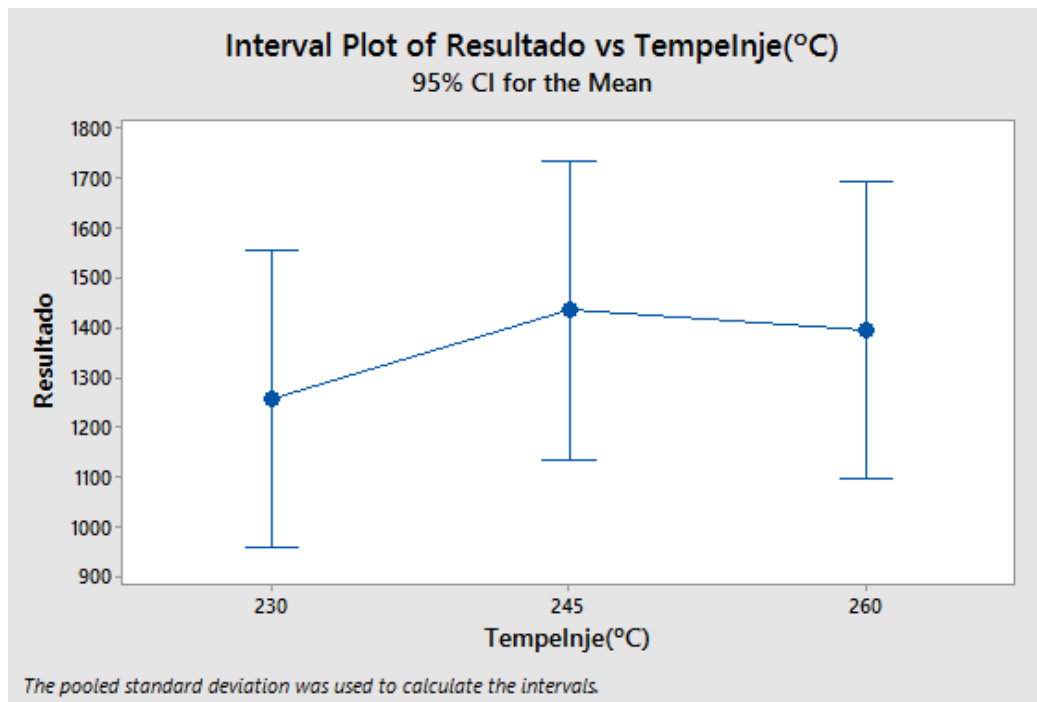


Figura 5.19 - Resultado vs TempeInje

### One-way ANOVA: Resultado versus TempeInje(°C)

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis At least one mean is different

Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
TempeInje(°C)	3	230; 245; 260

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TempeInje(°C)	2	52027	26013	0,58	0,587
Error	6	268027	44671		
Total	8	320054			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
211,355	16,26%	0,00%	0,00%

#### Means

TempeInje(°C)	N	Mean	StDev	95% CI
230	3	1257,0	50,3	(958,4; 1555,6)
245	3	1434	292	( 1135; 1733)
260	3	1396	214	( 1097; 1694)

Pooled StDev = 211,355

#### Interval Plot of Resultado vs TempeInje(°C)

#### PressAcond (bar)

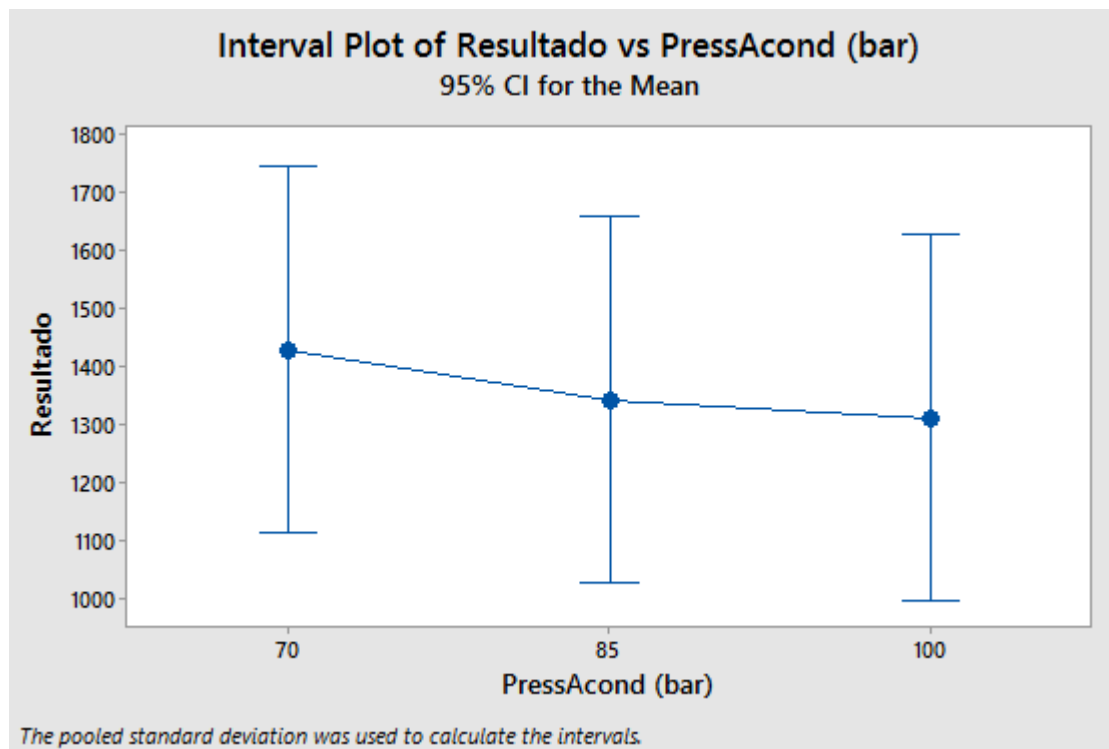


Figura 5.20 - Resultado vs PressAcond

### One-way ANOVA: Resultado versus PressAcond (bar)

Method

Null hypothesis All means are equal  
 Alternative hypothesis At least one mean is different  
 Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
PressAcond (bar)	3	70; 85; 100

Analysis of Variance



Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
PressAcond (bar)	2	22022	11011	0,22	0,807
Error	6	298031	49672		
Total	8	320054			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
222,872	6,88%	0,00%	0,00%

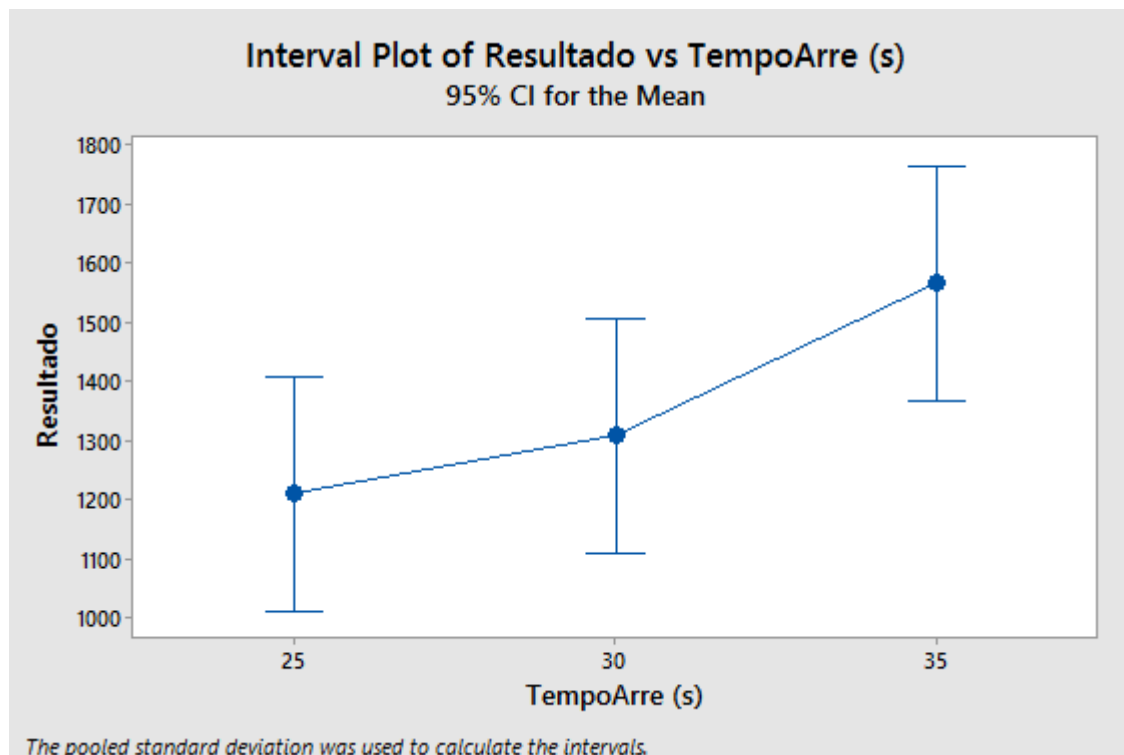
#### Means

PressAcond (bar)	N	Mean	StDev	95% CI
70	3	1430	277	( 1115; 1745)
85	3	1343	258	( 1028; 1658)
100	3	1313,3	77,5	(998,5; 1628,2)

Pooled StDev = 222,872

#### Interval Plot of Resultado vs PressAcond (bar)

#### TempoArre (s)



**Figura 5.21 - Resultado vs TempoArre**

### One-way ANOVA: Resultado versus TempoArre (s)

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis At least one mean is different

Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
TempoArre (s)	3	25; 30; 35

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TempoArre (s)	2	202692	101346	5,18	0,049
Error	6	117362	19560		
Total	8	320054			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
139,858	63,33%	51,11%	17,49%

## Means

### TempoArre

(s)	N	Mean	StDev	95% CI
25	3	1210,7	38,7	(1013,1; 1408,2)
30	3	1309,3	82,6	(1111,8; 1506,9)
35	3	1567	224	( 1369; 1764)

Pooled StDev = 139,858

## Interval Plot of Resultado vs TempoArre (s)

## PressInje ( bar)

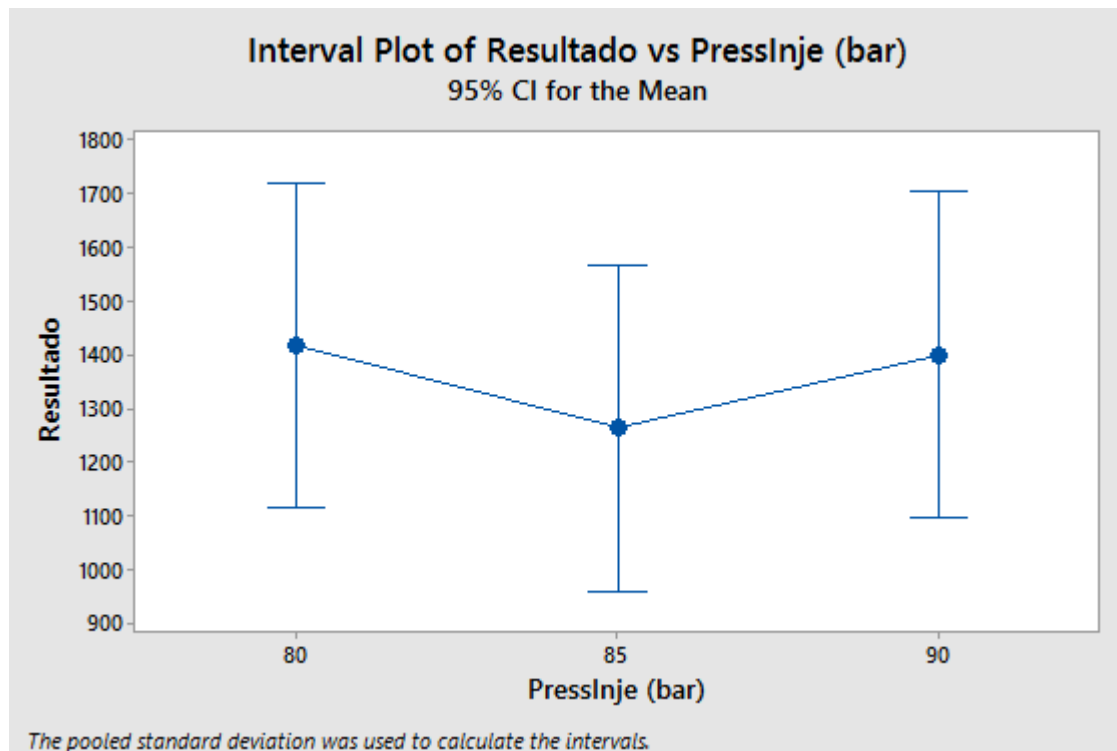


Figura 5.22 - Resultado vs PressInje

### One-way ANOVA: Resultado versus PressInje (bar)

Method

Null hypothesis All means are equal  
 Alternative hypothesis At least one mean is different  
 Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
PressInje (bar)	3	80; 85; 90

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
PressInje (bar)	2	43313	21656	0,47	0,646
Error	6	276741	46123		
Total	8	320054			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
214,764	13,53%	0,00%	0,00%

#### Means

##### PressInje

(bar)	N	Mean	StDev	95% CI
80	3	1420	206	( 1117; 1723)
85	3	1264,7	85,5	(961,3; 1568,1)
90	3	1402	298	( 1099; 1705)

Pooled StDev = 214,764

#### Interval Plot of Resultado vs PressInje (bar)

Pela Análise dos resultados globais os parâmetros com melhores resultados foram:

TempelInje(°C) – **Temperatura de Injeção** – 230º - Nível 1

PressAcond(bar) – **Pressão acondicionamento** – 100 bar – Nível 3

TempoArre(s) – **Tempo de Arrefecimento** – 25 segundos – Nível 1

PressInje(bar) – **Pressão Injeção** – 85 bar – Nível 2

### 5.2.2 Resultado

Com a aplicação do Taguchi melhorou cerca de 30%, aproximadamente 15 minutos, pela redução no número de testes ter sido reduzido de 26 para os 18, para se atingir uma peça com qualidade. Recapitulando, no início do estudo o período de tempo necessário era de 93 minutos, após a aplicação do SMED reduziu para 61 minutos, chegando aos 46 minutos após o Taguchi, como vemos na figura 5.23.

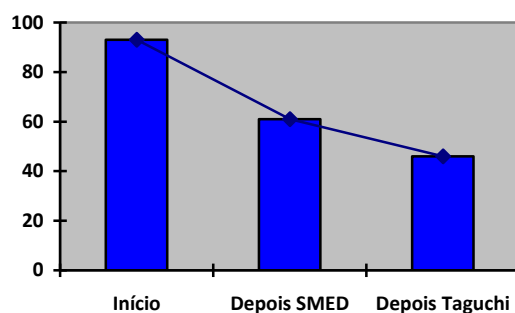


Figura 5.23 - Melhorias do tempo

De referir, e pelo interesse da discussão, que existem outras técnicas como o pareto para a definição dos parâmetros

### 5.2.3 Proposta de melhoria ao modelo apresentado

Usando posteriormente a metodologia que falta à combinação, neste caso o TRIZ, utilizando a técnica de Análise de Substância-Campo para representar graficamente o problema com a respetiva solução (técnica aprofundada no capítulo 2 da dissertação) e demonstrada pela figura neste subcapítulo 5.24 de representação gráfica deste primeiro caso de estudo.



**Figura 5.24 – Representação gráfica do Caso de estudo 1**

Neste caso a condição deficitária a ser corrigida era o tempo que se concluiu excessivo e com possíveis resultados benéficos após o SMED e Taguchi. Desta forma, ao modificar a substância F permite reduzir esse impacto negativo e produzir impacto positivo. Como vimos de forma significativa.

### 5.3 Caso de estudo 2: Método TRIZ - Taguchi

Usando a mesma industrial de modelação de moldes de injeção de plásticos como exemplo e caso de estudo, desta vez na combinação das metodologias TRIZ e Taguchi referidas e exploradas pelo artigo: *“An innovative manufacturing process for bamboo injection molding by using TRIZ and Taguchi method”* (Mu-Tsai Chang, 2012).

Neste documento, o objetivo foi em tornar uma peça robusta, criando capas em bambu em peças informáticas. Foram usadas as características do bambu, como a sua flexibilidade, vertente ecológica e estética para criar peças informáticas. Apesar destas características positivas, a qualidade por vezes demonstra limitações por, recorrentemente, se deformar ou quebrar. O objetivo seria criar capas de plástico com pele de bambu (como se vê na figura 5.25) mantendo as referidas qualidades do bambu e não perdendo a robustez do plástico.



Figura 5.25 – Primeiro exemplo da aplicação

Numa primeira fase foram avaliados os problemas referentes à peça. Os engenheiros concluíram que a característica que devesse ser melhoria seria a robustez. Em outras situações, quando estas situações acontecem, as soluções encontradas passam por adicionar mais partes à peça, mudando o desenho da estrutura ou peças com mais matéria-prima. Todas estas soluções tornam-na mais complexa. Com esta alusão, nota-se uma contradição e um problema que pode ser ajudado pela matriz de contradições do TRIZ, uma vez que uma das soluções piora outra característica.



### 5.3.1 Análise da aplicação existente

Consultando a Matriz de contradições encontramos:

Parâmetro de inovação: 14 Robustez

Parâmetro piorado ou em conflito: 36 Complexidade.

A Matriz de contradições encontra-se na totalidade para consulta no subcapítulo 8.1

Graças à pesquisa feita em milhares de patentes (Mazur, 1995), facilmente podemos consultar e encontrar sugestões de soluções genéricas para problemas de âmbito semelhante através da matriz de contradições de TRIZ propõe, como contributo para esta solução, os princípios inventivo sugeridos são: 2, 5, 15, 13, 18, 17, 25, 28, como tendo probabilidade de ajudar a resolver o conflito causado.

2 – Remoção, extração

5 – União ou mistura

15 – Dinamização

13 – Inversão

17 - Mudança para nova dimensão

18 – Vibração

25 – Autosserviço

28 – Substituição de meios mecânicos

Segundo o artigo original, qualquer uma das sugestões apresentadas pode contribuir para eliminar ou reduzir a contradição.

A procura dos parâmetros é muito importante, nomeadamente o tempo e temperatura de pressão de aplicação às peças criadas, com esta especificidade em questão. Podem ser feitos através das técnicas do Desenho de Experiências, tentativa e erro e combinação entre todas as opções, o que levaria e consumiria demasiado tempo e dinheiro. O método do Taguchi é então a ferramenta que contribui para detetar os fatores e valores associados mais relevantes para criar uma deformação desejada com estabilidade. Neste exemplo foi dada uma curvatura à peça de bambu como se vê na figura seguinte:



**Figura 5.26 – Deformação da peça**

Com o trabalho simultâneo de criar capas feitas em plástico com a pele de bambu foi necessário encontrar valores ajustados para não criar deformações excessivas ou criar peças fora dos critérios.

Foi ainda realizado um segundo teste de melhoria do processo, e neste caso, seria necessário melhorar o parâmetro de tensão (Parâmetro de engenharia número 11 dos parâmetros de engenharia segundo o TRIZ) e ao mesmo tempo manter o tamanho do forro de plástico da tampa frontal bambu, o parâmetro considerado que piora é o comprimento de objetos estacionários (Parâmetro de engenharia número 4 dos parâmetros de engenharia segundo o TRIZ)), olhando para as sugestões apresentadas pelos princípios inventivos encontramos: 1,3, 4, 9, 14, 17, 35, 40.

- 1 - Segmentação, fragmentação
- 3 - Qualidade localizada
- 4 - Assimetria
- 9 - Compensação prévia
- 14 - Recurvação
- 17 – Mudança para nova dimensão

35 – Mudança de estado físico ou químico

40 – Uso de matérias compostos

Nem todas as sugestões apontadas são soluções viáveis para esta situação. O resultado apenas se traduz em sugestões ou guias que uma equipa pode avaliar e adaptar ao seu próprio caso, neste ponto comprava-se o ponto que refere que o TRIZ não dispensa de uma avaliação humana.

Avaliando os principais princípios inventivos propostos:

### 17 – Mudar dimensões

Uma forma curva é aplicada sobre a estrutura de plástico para aumentar a força do apoio e reduzir a flexão da deformação. Desta forma, a porta da moldagem de injeção é alterada em duas entradas, para o comprimento se possa estender. 35 Peças da moldagem em bambu foram verificadas utilizando esta solução e mostra que não respeita as especificações exigidas previamente, apesar de mostrar algumas melhorias do desvio obtido. A figura 5.27 aponta os defeitos e manchas existentes.

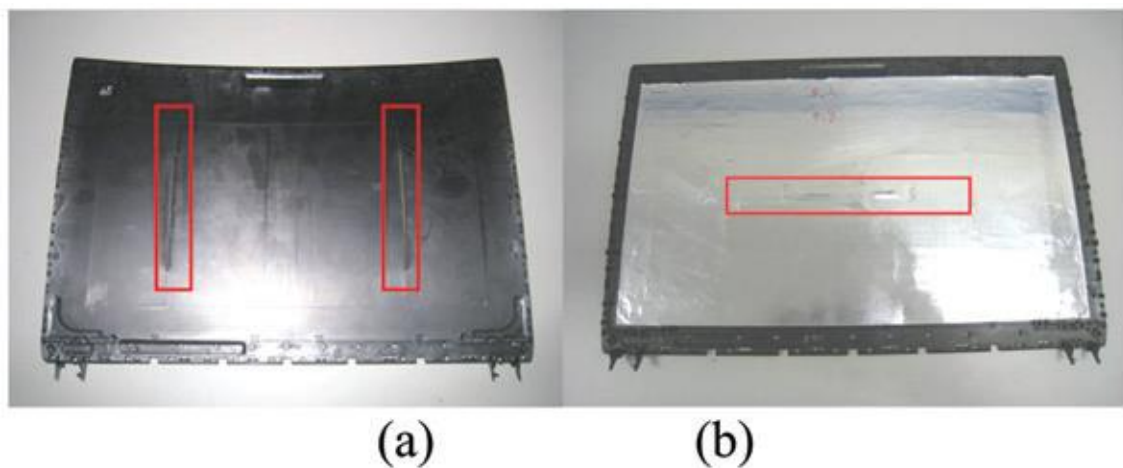


Figura 5.27 – Mostra de resultado negativos obtidos

### 40 – Composição do material

A superfície da pele de bambu e plástico pode não encolher simultaneamente no processo de injeção. Ou seja, a deformação causa distorção. Neste estudo, uma outra pele de bambu é adicionada no lado de trás do plástico. Deste modo, a tensão formada em ambos os lados é uniformemente

distribuída. O encolhimento e deformação podem ser minimizados tanto quanto possível. 35 peças de bambu de pele são verificadas com esta solução. Também mostra melhorias nos resultados de deformação. Os efeitos desejados são demonstrados na figura seguinte.



**Figura 5.28 - Curvatura da peça em relação inicial**

### **35 – Mudar parâmetros**

Depois da moldagem por injeção de plásticos, lacunas entre moléculas de plástico foram reduzidas. Ao mudar a pressão e exploração dos tempos de espera, as moléculas de plástico ficaram mais apertadas, reduzindo o enchimento e deformação. A pressão inicial estava prevista para 20 bar e o tempo de espera 8 segundos. Foi trocada para 40 e 12 segundos respetivamente. 35 peças de bambu pele por moldagem por injeção foram verificados usando esta solução proposta. No entanto, não satisfaz as condições de predefinição especificadas. Novas experiências com o método Taguchi pode permitir verificar novamente os parâmetros mais adequados necessários.

### **9 - Compensação prévia**

Com o pré-aquecimento dos moldes, tanto o macho como fêmeas, são definidos com a temperatura apropriada, o plástico estará em forma de arco, mas na direção oposta. Com a pressão para criar a curvatura, aumenta também o tempo de arrefecimento. A diferença de temperatura entre os moldes macho e fêmea é originalmente em torno de 20 °C, foi feita a mudança para cerca de 40°C. O tempo de resfriamento inicial era de cerca de 10 segundos, depois trocada para 20 segundos. Trinta e cinco pedaços de pele de bambu por moldagem por injeção são verificados usando esta solução proposta. Novamente não tem as especificações necessárias.

### 5.3.2 Resultado

Na prática, usando apenas uma solução do TRIZ pode não resultar numa solução ideal do problema se o problema for demasiado complexo. A solução “composição do material” mostrou resultados positivos, dentro das especificadas prévias. Para a escolha dos parâmetros e dos tempos, para este exemplo específicos, o Taguchi pode revelar-se mais eficiente.

### 5.3.3 Proposta de melhoria ao modelo apresentado

O modelo apresentado pelo artigo, apesar de juntar a metodologia do TRIZ e do Taguchi, vai ser utilizado outra ferramenta do TRIZ, neste caso a matriz de idealidade (Navas, 2013), com o objetivo de medir o nível de idealidade da sua fase inicial (antes de qualquer melhoria feita ao sistema) e tentar perceber se existem vantagens significativas em considerar também o parâmetro tempo neste sistema, usando a metodologia SMED.

O SMED, estatisticamente falando, e olhando para o que Shingo concluiu (Shingo, 1985), a proporção temporal e passos utilizados antes da implementação do SMED são:

Preparação, organizar materiais e ferramentas – 30%

Montar e remover lâminas, ferramentas e partes – 5%

Configurações, medições e calibração – 15%

Testes e ajustes – 50%

Uma vez que o período de testes, ajustes e preparação representam cerca de 80% do tempo entre sair a primeira peça e o departamento de qualidade a considerar ótima, dá-nos uma boa pista inicial da abordagem a utilizar se também queremos reduzir o tempo global.

A Matriz de idealidade é também um dos conceitos importantes do TRIZ. De uma forma visual e clara também permite visualizar, no formato de uma matriz, as interações entre requisitos técnicos existentes. Permite desta forma considerar o tempo e os custos.

Os requisitos técnicos identificados pelo artigo, e por uma análise a outros possíveis parâmetros técnicos, foram:

**Testes à peça** – O número de testes a ser realizados.

**Disponibilidade do equipamento** – O período de tempo que a máquina necessita de estar em repouso ou imobilizada.

**Material escolhido** – O tipo de material para o trabalho a ser realizado.

**Tempo de fabrico da peça** – Globalmente o período de tempo que uma peça necessita para ser feita.

**Custos** – O custo direto ou indireto que é gasto para a realização da peça.

A escolha destes parâmetros de engenharia deveu-se à intenção original de melhorar a estrutura da peça pelo artigo, analisando posteriormente as vantagens de melhoria do tempo de realização da peça.

A tabela seguinte representa o sistema sem qualquer melhoria feita ao sistema.

**Tabela 5.2 - Matriz de idealidade antes de melhoria**

Parâmetros	1	2	3	4	6
1 – Testes à peça		+	-	-	-
2 – Disponibilidade do equipamento	+			-	-
3 – Material escolhido	-			-	-
4 - Tempo de fabrico da peça	-	-	-		-
5 - Custos	-	-	-	-	

Como referido no capítulo 2.1.6, a formula para medir idealidade do sistema é:

**Equação 12 - Idealidade**

$$idealidade = \frac{\sum UF}{\sum HF}$$

Sendo o somatório do número de interações positivas sob o número de interações negativas.

Neste caso o número de idealidade é bastante baixo:

$$\text{Idealidade} = 2/16 = 0,125$$

A Matriz de idealidade, e após serem consideradas as melhorias propostas pelo artigo, usando o Taguchi e o TRIZ, considerando o parâmetro tempo como relevante e como proposta para ser acrescentada ao sistema, melhorando o valor de idealidade:

**Tabela 5.3 – Matriz de idealidade depois das melhorias propostas**

Parâmetros	1	2	3	4	6
1 – Testes à peça		+	-	+	-
2 – Disponibilidade do equipamento	+			+	-
3 – Material escolhido	-			+	-
4 – Tempo de fabrico da peça	+	+	+		+
5 - Custos	-	-	-	+	

Neste caso a idealidade apresentada pode ser calculada da seguinte forma:

$$\text{Idealidade} = 10/8 = 1,25$$

Considerando estes parâmetros de engenharia escolhidos, e após a junção das 3 metodologias observamos que a idealidade do sistema aumentou de forma significativa.

Uma aplicação concreta no SMED neste caso de estudo seria, previamente aos testes realizados, fazer-se de uma forma rigorosa uma medição e análise de todos os passos e seus tempos para a realização desta experiência. Isto só será possível com reuniões de trabalho com todas as partes envolvidas no processo, desde operadores e técnicos ou Engenheiros da Qualidade. Após este passo, as atividades passíveis de ser realizadas externamente, ou em paralelo, devem ser realizadas, poupando tempo global ao sistema, fazendo que em futuras repetições se conclua gastando um menor período de tempo, mantendo de igual forma o objetivo proposto por este artigo, a criação de robustez ao produto sem prejudicar outra característica, aumentando a idealidade do sistema.





## Conclusões e Discussão de Resultados

As empresas têm sempre de procurar investir em inovação, não se podendo abster deste papel, redução da variabilidade e melhoria contínua de produtos e processos através da utilização de novas metodologias e abordagens, e desta maneira aumentar os seus lucros e tornarem-se mais competitivas.

Existem diversas metodologias com este mesmo âmbito de melhorias de processos industriais que têm provas de sucessos alcançados, a combinação das potencialidades e complementaridades entre algumas das mesmas pode resultar num aumento da eficiência e eficácia global.

As aplicações práticas das mesmas são muitas vezes utilização par-a-par. Foi criado um modelo de utilização conjunta e sequencial de três delas, de forma genérica para poder ser aplicado em diversas áreas de engenharia e gestão industrial. O modelo foi testado e validado numa indústria de injeção de moldes de plásticos em dois casos de estudo.

A junção das três metodologias permite a redução dos tempos de *setup* iniciais, a redução da variabilidade, a melhoria das características pretendidas e, ainda, a identificação e resolução de eventuais contradições encontradas no processo de melhoria, alcançando maior grau de idealidade do sistema.

O SMED, com o objetivo de reduzir o tempo de preparação e apresenta sugestões de trabalhos em paralelo reduzindo o tempo final, alterando todas as atividades que podem ser realizadas previamente, sem que exista a necessidade de parar o sistema.

Taguchi com a sua capacidade estatística de analisar as variáveis com maior relevância e importância no contexto de um determinado problema, permite, para além da redução do número de testes necessários para que sejam atingidos valores e parâmetros ideais e com maior relevância, permite ainda melhorar outra característica, sem que seja necessário testar todas as combinações existentes, que pode levar a um elevado custo de operações e criar inúmeras opções consoante o desejado.

O TRIZ, tendo sido criada analisando centenas de outros trabalhos académicos, com uma série de padrões detetados de resoluções de problemas reais usando soluções habituais, poderão ser escaladas para outro tipo de aplicações, contribuiu com pistas para soluções específicas partindo de decisões genéricas para particulares.

Depois de analisarmos ambos os casos de estudo, onde apenas duas combinações das três técnicas propostas foram utilizadas, conseguimos notar melhoras significativas comparativamente aos valores iniciais sem estudos prévios.

O primeiro (SMED – Taguchi) permitiu reduzir o tempo de 93 minutos para 46 minutos, a segunda (TRIZ – Taguchi) permitiu melhorar as características da peça em questão, não colocando em causa outras características, após resolvida o conflito, apresentou ainda a solução sobre a composição do material que mostrou resultados significativos.

Se a primeira parte sozinha permitiu para reduzir quase para metade do tempo necessário para a condição da peça, o segundo caso de estudo estudado e com a introdução do TRIZ foi permitido auxiliar a procura das variáveis mais relevantes para o caso, como ainda revolver problemas daí observados com o princípios inventivos do TRIZ, apontando para a troca da composição do material.

O repto lançado pela dissertação torna-se claro e desafiante. E se juntarmos as 3 técnicas? Que melhorias possam ser combinadas ou acrescentadas? São 3 ferramentas poderosas e com vasto estudo documentado do seu sucesso individual ou em grupo.

Passando do particular (indústria de injeção de plásticos) para o geral, usando o modelo proposto de combinação das ferramentas, torna-se claro que a amplitude e extensão do mesmo tem variadas utilizações e a forma abstrata como foi construída permite isso mesmo.

Como referido no capítulo anterior, a combinação de qualquer um dos modelos nunca será prejudicial ao resultado final. Até a aplicação de uma cada técnica pode resultar em melhorias. A combinação e vantagens do Taguchi e TRIZ na parte posterior permite reduzir o número de testes.

No subcapítulo 2.4, onde foram apresentadas diversas técnicas estatísticas de melhorias de qualidade em grandes fábricas, existem soluções bastante populares. Será interessante ver outras combinações entre as técnicas ou, eventualmente, acrescentar a estas 3 estudadas como proposta de trabalho futuro.





## Bibliografia

- AICEP, 2015. *Portugal Global*. [Online]  
Available at: [www.portugalglobal.pt/](http://www.portugalglobal.pt/)  
[Acedido em Dezembro 2015].
- Altshuller, G., 2005. 40 Principles Extended Edition: TRIZ Keys to Technical Innovation. Technical Innovation Center.
- Altshuller, G., 2007. Innovation Algorithm. Worcester, Technical Innovation Center.
- American Chemistry Council's, s.d. *Lifecycle of a Plastic Product*. [Online]  
Available at: <http://plastics.americanchemistry.com/Education-Resources/Plastics-101/Lifecycle-of-a-Plastic-Product.html>
- Apte, P., 2013. *Introduction to TRIZ. Innovative Problem Solving*. s.l.:s.n.
- Bacci, M., 2005. *Proposta de modelo de tomada de decisão para aplicação da metodologia SMED*. s.l.:s.n.
- Ball, L., 2009. Triz Power Tools: Resolving Problems. In: s.l.:s.n.
- Barçante, L., 2009. *Os Gurus da Qualidade*. [Online]  
Available at: <https://professorbarcante.files.wordpress.com/2009/05/capc3adtulo-2-os-gurus-da-qualidade.pdf>

Barrionuevo, T., 2003. *Plásticos: Moldagem por Injeção*. [Online]  
Available at: <http://www.zemoleza.com.br/trabalho-academico/outras/diversos/plasticos-moldagem-por-injecao/>

Barry, K., 2008. What is TRIZ?. *TRIZ Journal*.

Becker, D., 2015. *Introdução aos materiais poliméricos*. [Online]  
Available at: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/daniela/materiais/processamento.pdf>  
[Acedido em Novembro 2015].

Carvalho, 2007. *Metodologias IDEATRIZ para a ideação de novos produtos*. s.l.:s.n.

Castro, P., 2001. *Método de taguchi: controlo de qualidade com recurso não convencional ao desenho estatístico de experiências (DOE)*. Lisboa: s.n.

Cefamol, 2015. [Online]  
Available at: <http://www.cefamol.pt>

Cefamol, 2015. *A Indústria Portuguesa de Moldes*. [Online]  
Available at: [http://www.cefamol.pt/cefamol/pt/Cefamol\\_IndustriaMoldes/Situacao\\_Actual/Ficheiros/IPM\\_Janeiro%202015\\_PT.pdf](http://www.cefamol.pt/cefamol/pt/Cefamol_IndustriaMoldes/Situacao_Actual/Ficheiros/IPM_Janeiro%202015_PT.pdf)  
[Acedido em 2015].

CENFIMFE, s.d. [Online]  
Available at: <http://www.centimfe.com/>

CEP - Controle Estatístico de Processo, 2010. [Online]  
Available at: <http://www.dataalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info22/22.html>

Chang, M., 2012. *An innovative manufacturing process for bamboo injection molding by*. Taiwan: s.n.

Correa, C., 2011. *Projeto de Moldes*. [Online]  
Available at: <http://pt.scribd.com/doc/249695418/FATEC-Montagem-Explodida-Porta-Molde#scribd>

Couto, R., 2008. *Estudo de implementação do método SMED e do método de Taguchi no processo de injeção de plásticos*. s.l.:s.n.

Crawford, R., 1998. *Plastics Engineering*, Butterworth Heinemann. [Online]  
Available at: <http://www.zemoleza.com.br/trabalho-academico/outras/diversos/plasticos-moldagem-por-injecao/>

Deming, W., 2003. *Saia da crise: as 14 lições definitivas para controle de qualidade*. São Paulo: Futura, 2003.. São Paulo: s.n.

Esquível, P., s.d. [Online]  
Available at: <http://gerironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=24304>  
[Acedido em 2015].

Feigenbaum, A., 1994. *Controle da qualidade total*. São Paulo: Makron Books.

Fey, 2004. *Innovation on demand: new product development using TRIZ*.

Fowlkes, W., 1995. *Engineering Methods for Robust Product Design*. 1 ed. Boston: Addison-Wesley Publishing Company.

Fowlkes, W. a. C. C., 1995. *Engineering Methods for Robust Product Design*. 1 ed. s.l.:Addison-Wesley Publishing.

Gadd, K., 2011. *TRIZ for Engineers Enabling Inventive Problem Solving*. s.l.:s.n.

Ibevbare, P., 2013. *A review of TRIZ, and it's benefits and challenges in practice*. s.l.:s.n.

INE, 2011. [Online]  
Available at: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOEspub\\_boui=11899874&PUBLICACOEsmodo=2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOEspub_boui=11899874&PUBLICACOEsmodo=2)

Kackar, R., 1985. *Off-Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method*. 4 ed. s.l.:s.n.

Kackar, R., 1986. *Taguchi's quality philosophy: analysis and comentary*. Wisconsin : Quality Progress.

Karasu, M., 2013. *Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production*. Izmir: Science Direct.

Lopes, R., 2013. *Quick Changeover*. s.l.:s.n.

Mann, P., 2001. *Taguchi and TRIZ: Comparisons and Opportunities*. [Online]  
Available at: <http://www.systematic-innovation.com/assets/200111-taguchiandtriz-comparisonsandopportunities.pdf>  
[Acedido em 2015].

Mazur, G., 1995. [Online]  
Available at: <http://www.mazur.net/triz>  
[Acedido em 2015].

Mazur, G., s.d. *Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)*. [Online]  
Available at: [www.mazur.net/triz](http://www.mazur.net/triz)  
[Acedido em 2015].

Mcintosh, R., 2001. *Improving Changeover Performance*. s.l.:s.n.

Navas, H., 2013. *TRIZ: Design Problem Solving with Systematic Innovation*. s.l.:s.n.

Navas, M., 2010. *Usage of TRIZ Methodology in a Lean Management Environment*.  
Itália: s.n.

Ohno, T., 1978. *Toyota Production System – Beyond Management of Large-Scale Production*. s.l.:Tokyo: Diamond Publishing.

Orloff, M., 2006. *Inventive Thinking through TRIZ – A practical Guide*. 2ª Edição  
ed. s.l.:Springer.

Parkurbis, 2005. [Online]  
Available at: <http://www.innosupport.net/index.php?id=2162&L=9>  
[Acedido em 2015].

Pasquini, N., 2010. *Avaliação do uso de ferramentas da qualidade em empresas do setor têxtil instalada da região do pólo têxtil (rpt)*. s.l.:s.n.

Peace, G., 1993. *Taguchi Method: A Hands-On Approach*. Massachusetts:  
Addisson-Wesley Publishing Company.

Peças, P., 2003. *A exploração das tecnologias e a competitividade das empresas de moldes*. Número 56 ed. s.l.:s.n.

Pimentel, A., 2004. *Considerações sobre TRIZ e a sua Aplicação no Desenvolvimento de Software*. s.l.:s.n.

Rantanen, 2010. *Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals*. s.l.:s.n.



Roda, D., 2011. *O Processo de moldagem por injeção*. [Online] Available at: <http://www.tudosobreplasticos.com/processo/injecao.asp><http://www.tudosobreplasticos.com/processo/injecao.asp>

Rosenberg, L., 1979. *The logical framework: a manager's guide to a scientific approach to design and evaluation*. Washington, DC.: s.n.

Ross, P., 1988. *Taguchi techniques for quality engineering*. s.l.:Mcgraw-hill book company.

Roy, R., 1947. *A primer on the Taguchi method*. s.l.:New York : Van Nostrand Reinhold.

San, Y., 2009. *TRIZ - Systematic Innovation in Manufacturing*. Primeira ed. s.l.:s.n.

Savranski, S., 2000. *Engineering of Creativity*. s.l.:s.n.

Shingo, S., 1985. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. s.l.:Productivity Press.

Shingo, S., 1989. *A Study of the Toyota Production System From an Industrial Engineering Viewpoint*. s.l.:s.n.

Shingo, S., 1996. *O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção*. s.l.:Porto Alegre: Bookman Companhia Editora.

Snee, R., 1993. *Creating Robust Work Processes*. s.l.: Quality Progress.

Taguchi, G., 1986. *Introduction to quality engineering*. s.l.:Tokyo Asian Productivity.

Taguchi, G., 1991. *Quality Design Experiment Design Method*. Taiwan: s.n.

Taylor, 2009. São Paulo: s.n.

Tortuga Sun, s.d. *Lean Manufacturing and Six Sigma Definitions*. [Online] Available at: <http://leansixsigmadefinition.com/glossary/taguchi-loss-function/>

White, A., 2005. European Office of Technology and Innovation. What Innovation Is. How companies develop operating systems for innovation. p. 19.

Wu, D., 2005. *Applying Taguchi Dynamic Characteristics to the Robust Design of a Piezoelectric Sensor*. s.l.:s.n.

Yung-Tsan Jou, J., 2013. Integrating the TRIZ and Taguchi's Method in the Optimization of Processes Parameters for SMT. *Hindawi Publishing Corporation*.



**Anexo**

## A.1 Matriz de contradições TRIZ

		Parâmetros de engenharia piorados							Princípios inventivos		
		33	34	35	36	37	38	39			
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37	1	Segmentação ou fragmentação
	2	Peso do objeto parado	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35	2	Remoção ou extração
	3	Comprimento do objeto em movimento	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29	3	Qualidade localizada
	4	Comprimento do objeto parado	2, 25	3	1, 35	1, 26	26	-	30, 14, 7, 26	4	Assimetria
	5	Área do objeto em movimento	15, 17, 1316	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2	5	Consolidação
	6	Área do objeto parado	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7	6	Universalização
	7	Volume do objeto em movimento	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34	7	Aninhamento
	8	Volume do objeto parado	-	1	-	1, 31	2, 17, 26	-	35, 37, 10, 2	8	Contrapeso
	9	Velocidade	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	-	9	Compensação prévia
	10	Força	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37	10	Ação prévia
	11	Tensão ou pressão	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37	11	Amortecimento prévio
	12	Forma	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10	12	Equipotencialidade
	13	Estabilidade da composição	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3	13	Inversão
	14	Resistência	32, 40, 28, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14	14	Recurvação
	15	Duração da ação do objeto em movimento	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19	15	Dinamização
	16	Duração da ação do objeto parado	1	1	2	-	25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38	16	Ação parcial ou excessiva
	17	Temperatura	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	23, 2, 19, 16	15, 28, 35	17	Transição para nova dimensão
	18	Brilho	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16	18	Vibração mecânica
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35	19	Ação periódica
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	-	-	-	19, 35, 16, 25	-	1, 6	20	Continuidade da ação útil
	21	Potência	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34	21	Aceleração
	22	Perda de energia	35, 32, 1	2, 19	-	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35	22	Transformação de prejuízo em lucro
	23	Perda de substância	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23	23	Retroalimentação
	24	Perda de informação	27, 22	-	-	-	35, 33	35	13, 23, 15	24	Mediação
	25	Perda de tempo	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	-	25	Auto-serviço
	26	Quantidade de substância	35, 29, 10, 25	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27	26	Cópia
	27	Confiabilidade	27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38	27	Uso e descarte
	28	Precisão de medição	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 10, 34	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 26, 32	28	Substituição de meios mecânicos
	29	Precisão de fabricação	1, 32, 35, 23	25, 10	-	26, 2, 18	-	26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39	29	Construção pneumática ou hidráulica
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24	30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	-	-	-	19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39	31	Uso de materiais porosos
	32	Manufaturabilidade	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28	32	Mudança de cor
	33	Conveniência de uso	-	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 25, 12, 17	-	1, 34, 12, 3	15, 1, 28	33	Homogeneização
	34	Mantenabilidade	1, 12, 26, 15	-	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11	-	34, 35, 7, 13	1, 32, 10	34	Descarte e regeneração
	35	Adaptabilidade	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4	-	15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37	35	Mudança de parâmetros e propriedades
	36	Complexidade do objeto	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37	-	15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 26	36	Mudança de fase
	37	Complexidade de controle	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28	-	34, 21	35, 18	37	Expansão térmica
	38	Nível de automação	1, 12, 34, 3	1, 35, 1, 35	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25	-	5, 12, 35, 26	38	Uso de oxidantes fortes
	39	Capacidade ou produtividade	1, 28, 7, 19	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	-	39	Uso de atmosferas inertes
										40	Uso de materiais compostos

		Parâmetros de engenharia piorados											
		25	26	27	28	29	30	31	32				
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	3, 11, 1, 27	28, 27, 26, 18	28, 35, 18, 27	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	1	Segmentação ou fragmentação	
	2	Peso do objeto parado	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	2	Remoção ou extração	
	3	Comprimento do objeto em movimento	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	3	Qualidade localizada	
	4	Comprimento do objeto parado	30, 29, 14	-	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18	-	15, 17, 27	4	Assimetria	
	5	Área do objeto em movimento	26, 4	29, 30, 8, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	5	Consolidação	
	6	Área do objeto parado	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	6	Universalização	
	7	Volume do objeto em movimento	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	7	Aninhamento	
	8	Volume do objeto parado	35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16	-	35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35	8	Contrapeso	
	9	Velocidade	-	10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 32, 21	35, 13, 8, 1	9	Compensação prévia	
	10	Força	10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	10	Ação prévia	
	11	Tensão ou pressão	37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	Amortecimento prévio	
	12	Forma	14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	12	Equipotencialidade	
	13	Estabilidade da composição	35, 27	15, 32, 35	-	13	18	35, 23, 18, 30	35, 40, 27, 39	35, 19	13	Inversão	
	14	Resistência	29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	14	Recurvação	
	15	Duração da ação do objeto em movimento	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	15	Dinamização	
	16	Duração da ação do objeto parado	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 28, 24	-	17, 1, 40, 33	22	35, 10	16	Ação parcial ou excessiva	
	17	Temperatura	35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	17	Transição para nova dimensão	
	18	Brilho	19, 1, 26, 17	1, 19	-	11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	18	Vibração mecânica	
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32	-	1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30	19	Ação periódica	
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	3, 35, 31	10, 36, 23	-	-	10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4	20	Continuidade da ação útil	
	21	Potência	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34	21	Aceleração	
	22	Perda de energia	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32	-	21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22	-	22	Transformação de prejuízo em lucro	
	23	Perda de substância	15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 10	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	23	Retroalimentação	
	24	Perda de informação	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23	-	-	22, 10, 1	10, 21, 22	32	24	Mediação	
	25	Perda de tempo	-	35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4	25	Auto-serviço	
	26	Quantidade de substância	35, 38, 183, 16	-	18, 3, 28, 40	3, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27	26	Cópia	
	27	Confiabilidade	10, 30, 4	21, 28, 40, 3	-	32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 26	-	27	Uso e descarte	
	28	Precisão de medição	24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23	-	-	28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	28	Substituição de meios mecânicos	
	29	Precisão de fabricação	32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1	-	-	26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26	-	29	Construção pneumática ou hidráulica	
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	35, 18, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18	-	-	24, 35, 2	30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis	
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 1, 26	4, 17, 34, 26	-	-	-	31	Uso de materiais porosos	
	32	Manufaturabilidade	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24	-	1, 35, 12, 18	-	24, 2	-	-	32	Mudança de cor	
	33	Conveniência de uso	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39	-	2, 5, 12	33	Homogeneização	
	34	Mantenabilidade	32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 102, 16	-	1, 35, 11, 10	34	Descarte e regeneração	
	35	Adaptabilidade	35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10	-	35, 11, 32, 31	-	1, 13, 31	35	Mudança de parâmetros e propriedades	
	36	Complexidade do objeto	6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13	36	Mudança de fase	
	37	Complexidade de controle	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28	-	22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29	37	Expansão térmica	
	38	Nível de automação	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13	38	Uso de oxidantes fortes	
	39	Capacidade ou produtividade	-	35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	32, 1, 18, 10	22, 35, 13, 24	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24	39	Uso de atmosferas inertes	
	40										40	Uso de materiais compostos	

		Parâmetros de engenharia piorados								Princípios inventivos	
		17	18	19	20	21	22	23	24	1	
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	-	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	Segmentação ou fragmentação
	2	Peso do objeto parado	28, 19, 32, 22	35, 19, 32	-	18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	Remoção ou extração
	3	Comprimento do objeto em movimento	10, 15, 19	32	8, 35, 24	-	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	Qualidade localizada
	4	Comprimento do objeto parado	3, 35, 38, 18	3, 25	-	-	12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26	Assimetria
	5	Área do objeto em movimento	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	-	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	Consolidação
	6	Área do objeto parado	35, 39, 38	-	-	-	17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	Universalização
	7	Volume do objeto em movimento	34, 39, 10, 18	10, 13, 2	35	-	35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	Aninhamento
	8	Volume do objeto parado	35, 6, 4	-	-	-	30, 6	-	10, 39, 35, 34	-	Contrapeso
	9	Velocidade	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	-	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26	Compensação prévia
	10	Força	35, 10, 21	-	19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5	-	Ação prévia
	11	Tensão ou pressão	35, 39, 19, 2	-	14, 24, 10, 37	-	10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 37	-	Amortecimento prévio
	12	Forma	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14	-	4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5	-	Equipotencialidade
	13	Estabilidade da composição	35, 1, 32	32, 3, 27, 15	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40	-	Inversão
	14	Resistência	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40	-	Recurvação
	15	Duração da ação do objeto em movimento	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18	-	19, 10, 35, 38	-	28, 27, 3, 18	10	Dinamização
	16	Duração da ação do objeto parado	19, 18, 36, 40	-	-	-	16	-	27, 16, 18, 38	10	Ação parcial ou excessiva
	17	Temperatura	-	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17	-	2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31	-	Transição para nova dimensão
	18	Brilho	32, 35, 19	-	32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	19, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	Vibração mecânica
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	-	-	6, 19, 12, 22, 37, 18	15, 24	35, 24, 18, 5	-	Ação periódica
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	19, 2, 35, 32	-	-	-	-	28, 27, 18, 31	-	Continuidade da ação útil
	21	Potência	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37	-	-	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	Aceleração
	22	Perda de energia	19, 38, 7	1, 13, 32, 15	-	-	3, 38	-	35, 27, 2, 37	19, 10	Transformação de prejuízo em lucro
	23	Perda de substância	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	-	-	Retroalimentação
	24	Perda de informação	-	19	-	-	10, 19	19, 10	-	-	Mediação
	25	Perda de tempo	35, 29, 21, 18	1, 19, 21, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32	Auto-serviço
	26	Quantidade de substância	3, 17, 39	-	34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	Cópia
	27	Confiabilidade	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	36, 23	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 35, 29, 39	10, 28	Uso e descarte
	28	Precisão de medição	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32	-	3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28	-	Substituição de meios mecânicos
	29	Precisão de fabricação	19, 26	3, 32	32, 2	-	32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24	-	Construção pneumática ou hidráulica
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2	Uso de filmes finos e membranas flexíveis
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 22, 2	10, 1, 34	10, 21, 29	Uso de materiais porosos
	32	Manufaturabilidade	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16	Mudança de cor
	33	Conveniência de uso	26327, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24	-	35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22	Homogeneização
	34	Mantenabilidade	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16	-	15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27	-	Descarte e regeneração
	35	Adaptabilidade	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13	-	19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13	-	Mudança de parâmetros e propriedades
	36	Complexidade do objeto	2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28	-	20, 19, 16, 10	10, 35, 30, 34	35, 10, 28, 29	-	Mudança de fase
	37	Complexidade de controle	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16	19, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22	Expansão térmica
	38	Nível de automação	26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13	-	28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	Uso de oxidantes fortes
	39	Capacidade ou produtividade	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23	Uso de atmosferas inertes
											Uso de materiais compostos

		Parâmetros de engenharia piorados								Princípios inventivos		
		9	10	11	12	13	14	15	16	1		
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	-	2	Segmentação ou fragmentação
	2	Peso do objeto parado	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27	-	2, 27, 19, 6	3	Remoção ou extração
	3	Comprimento do objeto em movimento	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-	4	Qualidade localizada
	4	Comprimento do objeto parado	-	28, 1	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	-	1, 40, 35	5	Assimetria
	5	Área do objeto em movimento	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	-	6	Consolidação
	6	Área do objeto parado	-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	-	2, 38	40	-	2, 10, 19, 30	7	Universalização
	7	Volume do objeto em movimento	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-	8	Aninhamento
	8	Volume do objeto parado	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38	9	Contrapeso
	9	Velocidade	-	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	-	10	Compensação prévia
	10	Força	13, 28, 15, 12	-	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	-	11	Ação prévia
	11	Tensão ou pressão	6, 35, 36	36, 35, 21	-	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27	-	12	Amortecimento prévio
	12	Forma	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	-	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25	-	13	Equipotencialidade
	13	Estabilidade da composição	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	-	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	14	Inversão
	14	Resistência	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	-	27, 3, 26	-	15	Recurvação
	15	Duração da ação do objeto em movimento	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	-	-	16	Dinamização
	16	Duração da ação do objeto parado	-	-	-	-	39, 3, 35, 23	-	-	-	17	Ação parcial ou excessiva
	17	Temperatura	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	18	Transição para nova dimensão
	18	Brilho	10, 13, 19	26, 19, 6	-	32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6	-	19	Vibração mecânica
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	8, 15, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	20	Ação periódica
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	36, 37	-	-	27, 4, 29, 18	35	-	-	21	Continuidade da ação útil
	21	Potência	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	22	Aceleração
	22	Perda de energia	16, 35, 38	36, 38	-	-	14, 2, 39, 6	26	-	-	23	Transformação de prejuízo em lucro
	23	Perda de substância	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	24	Retroalimentação
	24	Perda de informação	26, 32	-	-	-	-	-	10	10	25	Mediação
	25	Perda de tempo	-	10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	26	Auto-serviço
	26	Quantidade de substância	35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	27	Cópia
	27	Confiabilidade	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	-	11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	28	Uso e descarte
	28	Precisão de medição	28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	29	Substituição de meios mecânicos
	29	Precisão de fabricação	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27, 40	-	-	30	Construção pneumática ou hidráulica
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	31	Uso de filmes finos e membranas flexíveis
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	32	Uso de materiais porosos
	32	Manufaturabilidade	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	33	Mudança de cor
	33	Conveniência de uso	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	34	Homogeneização
	34	Mantenabilidade	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	1, 11, 2, 9	11, 29, 28, 27	1	35	Descarte e regeneração
	35	Adaptabilidade	35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16	36	Mudança de parâmetros e propriedades
	36	Complexidade do objeto	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28, 15	-	37	Mudança de fase
	37	Complexidade de controle	3, 4, 16, 35	36, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28	19, 29, 25, 39	25, 34, 6, 35	38	Expansão térmica
	38	Nível de automação	28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9	-	39	Uso de oxidantes fortes
	39	Capacidade ou produtividade	-	28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18	35, 10, 20, 10, 16, 38	-	40	Uso de atmosferas inertes

										Princípios inventivos									